Comune di Andora

PORTO DI ANDORA
PUO A MODIFICA DELLO S.U.A. APPROVATO CON PROVVEDIMENTO FINALE IN DATA 16/03/2010 - DISTRETTO DI TRASFORMAZIONE TR-CO2 IN AGGIORNAMENTO AL PUC

VERIFICA DELL'INTERFERENZA DEL PARCHEGGIO INTERRATO RISPETTO AL DEFLUSSO SOTTERRANEO
PIANO DI MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA E POST OPERA

Vezzaro Vittorio Ordine Regionale Geologi Liguria GEOLOGO

Geol. Vittorio Vezzaro

Studio Associato di Ingegneria geologia e architettura
Via Cavour 30, 17051 Andora (SV) – Italy | P.IVA 00986040095
stingeo@libero.it - PEC vittoriovezzaro@pec.epap.it

Ing. Santina Aiassa

Geosolving srl
Corso Orbassano 336 1, 10137 Torino (TO) – Italy | P.IVA 11591760019
Cap. Soc. i.v. 10.000,00 EUR | info@geo-solving.com | geosolvingsrl@pec.geo-solving.com |
http:// www.geo-solving.com

INDICE

PREMESSA 2
INQUADRAMENTO DELL'OPERA E DELL'AREA DI INTERESSE 3
SINTESI DELLA DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE 5
ANALISI DI FLUSSO 8
Codice di calcolo adottato 8
Descrizione del modello numerico 8
Descrizione dei risultati delle analisi 16
Risultati analisi con piezometria iniziale al livello 1 (analisi A1 e B1) 16
Risultati analisi con piezometria iniziale al livello 2 (analisi A2 e B2) 22
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE ANALISI NUMERICHE 30
PIANO DI MONITORAGGIO DA ESEGUIRSI DURANTE I LAVORI E POST OPERA 31

PREMESSA

Nell'ambito della Verifica di Assoggettabilità alla VIA del progetto "Approvazione PUO a modifica dello SUA approvato con provvedimento finale in data 16/03/2010 - distretto di trasformazione TR CO 2 in aggiornamento al PUC - Comune di Andora" proposto dal comune di Andora è stato emesso il Parere n. 541 del 5 Agosto 2022 che, con riferimento alla componente acque sotterranee riporta: "*La carta geologica presentata nella Relazione geologica evidenzia la presenza, a monte del sito ove è prevista la costruzione del parcheggio interrato, di una falda detritica indicata in legenda come coltre eluvio colluviale di spessore medio elevato, con clasti eterometrici in matrice pelitica e/o sabbioso ghiaiosa, elementi che suggeriscono che la stessa sia caratterizzata da elevata permeabilità e che, in occasione di eventi pluviometrici estremi o prolungati, potrebbe rappresentare localmente via preferenziale di deflusso sotterraneo, con gradienti idraulici elevati. Per tale motivo, risulta necessario quantificare su base modellistica, mediante adeguato software (ad es. MODFLOW ®, applicazione "open source"), l'interferenza del parcheggio interrato rispetto al deflusso sotterraneo atteso in occasione di eventi pluviometrici estremi o piogge prolungate, con conseguente innalzamento delle piezometrie nel tratto a monte, atteso pure che alla base del versante a monte del porto risulta collocata, per quanto mostrato nella Relazione geologica, un'area "storicamente inondata". Sulla base delle risultanze modellistiche, sarà opportuno progettare gli interventi di mitigazione eventualmente necessari, mentre in ogni caso risulta necessario progettare il piano di monitoraggio quantitativo delle acque sotterranee, attraverso piezometri a monte e a valle del parcheggio e rilievi dei livelli piezometri opportunamente cadenzati. Il monitoraggio sarà eseguito in corso d'opera e dovrà protrarsi per almeno tre anni dalla fine dei lavori.*"

La presente relazione descrive:

1) le analisi numeriche di flusso condotte con l'obiettivo di valutare quantitativamente l'influenza della costruzione del parcheggio sotterrano sul deflusso delle acque sotterranee in particolare in occasione di eventi pluviometrici estremi o di piogge prolungate, così come richiesto dal parere sopra riportato. Dopo un breve inquadramento generale si andrà ad elencare la documentazione disponibile di riferimento, a descrivere la costruzione della geometria e della stratigrafia del modello numerico ed infine ad analizzare i risultati;

2) Il piano di monitoraggio del livello piezometrico durante l'esecuzione dei lavori e post opera.

INQUADRAMENTO DELL'OPERA E DELL'AREA DI INTERESSE

Il progetto prevede una completa ridistribuzione degli spazi e degli edifici dell'area portuale del comune di Andora con demolizione di alcuni edifici esistenti, costruzione di un complesso di nuovi edifici a servizio del porto e nuova viabilità.

Fra gli interventi più rilevanti si segnalano:

- la realizzazione di un parcheggio per auto a cinque livelli di 30 metri di larghezza ed oltre 100 di lunghezza con un piano completamente interrato;
- la realizzazione di una nuova sede per la Capitaneria di Porto posizionata nell'angolo a nord ovest dell'area;
- la realizzazione di un nuovo capannone adibito a cantiere sul molo principale;
- vari nuovi edifici costituiti da solo piano terra destinati a scopi commerciali e/o tecnici;
- costruzione di apposti moli per travel-lift atto al sollevamento e messa a mare delle imbarcazioni.

Sono inoltre previste opere di risistemazione della viabilità interna, di porzioni della scogliera e dei gavitelli, la creazione di una pista ciclabile lunga circa 300 metri lungo il confine nord dell'area portuale.

Il sito di interesse è ubicato alla base del promontorio di Capo Mele sul limite est della piana alluvionale costiera.

La zona a valle dell'Aurelia è costituita da terreni di riporto in quanto la linea costiera era situata in prossimità della base del muro della strada. Al di sotto dei depositi costieri sabbio ghiaiosi il substrato dell''area è costituito dalla Formazione del Flysch di San Remo litofacies A (Capo Mele) caratterizzata da una netta prevalenza di marne ed arenarie calcaree intercalati strati calcilutitici e scarsi strati arenaceo-argillitici. Relativamente all'ammasso roccioso, sulla base del rilevamento geologico del versante a monte si osserva la presenza di pieghe di dimensioni decametriche che interessano la stratificazione in corrispondenza della linea di costa.

Da un punto di vista idrologico e idrogeologico, sulla base dei dati disponibili dal sito di ARPAL Liguria si sono potuti identificare i bacini idrografici di competenza dei vari impluvi presenti nell'area oggetto di esame (Figura 1). Risulta evidente che il bacino idrografico del torrente Merula è quello di maggiori dimensioni e in cui si segnala la presenza di acque sotterranee in mezzi porosi. Il bacino idrografico immediatamente ad est del torrente Merula non insiste sull'area in oggetto perché relativo ad un impluvio che convoglia direttamente le acque a mare, in corrispondenza del Molo. L'unico bacino idrografico, che insiste sull'area in esame è quello relativo ad un piccolo impluvio che confluisce all'interno dell'area mediante tombinatura sottostante la SS1. Già nel SUA approvato era prevista la sistemazione di detto colatore.

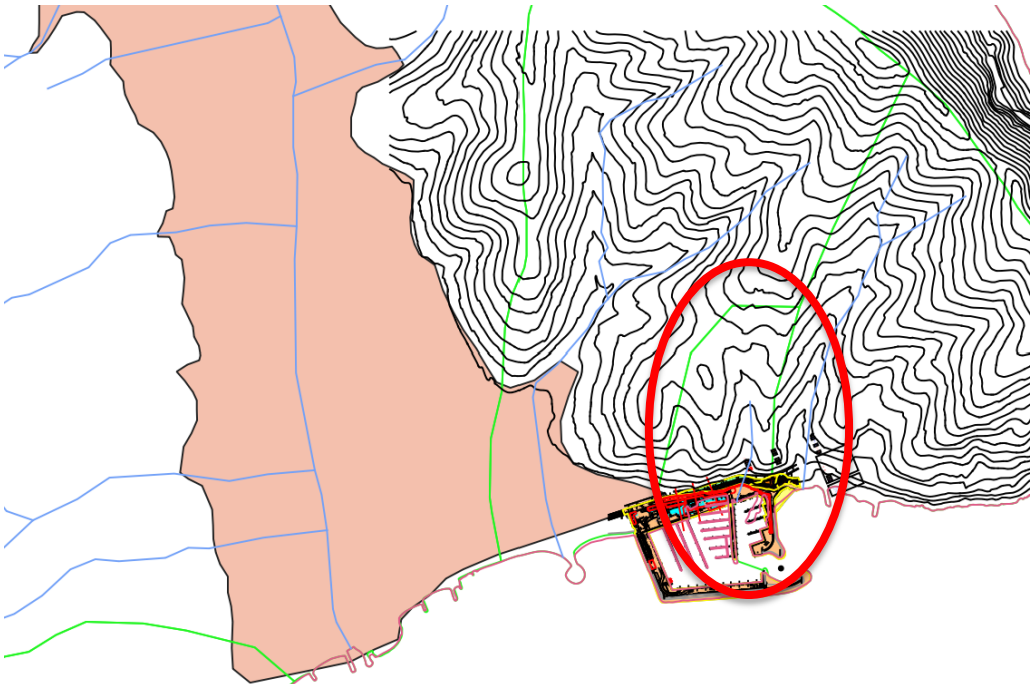

FIGURA 1 – STRALCIO DELLA C.T.R. IN SCALA 1:5000 (FONTE: GEOPORTALE REGIONE LIGURIA) CON L'INDICAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI (LINEE VERDI), GLI ELEMENTI IDRICI (LINEE BLU). IL POLIGONO ROSSO IDENTIFICA IL BACINO IDROGRAFICO DI INTERESSE.

A completamento dell'inquadramento del contesto geologico, idrogeologico ed idraulico del sito in esame si segnala che i fenomeni di allagamento dell'area hanno in generale interessato:

- la via Aurelia e la zona antistante il porto ma non la zona portuale oggetto dell'intervento e derivano dall'afflusso d'acqua proveniente dall'Aurelia stessa lungo Capo Mele dalla zona di strada delle Catene, tali afflussi sono stati molto ridotti da alcuni lavori di canalizzazione realizzati negli anni scorsi;
- la zona a monte dell'Aurelia ribassata rispetto alla strada statale è stata in passato interessata da ruscellamento proveniente dalla soprastante strada della Pineta, acque ora regimate mediante un cordolo che le porta verso tombinature esistenti del reticolo urbano.

Nell'evento alluvionale del novembre 2014 che ha interessato in modo significativo la zona di Andora l'area in oggetto non è stata interessata da allagamenti rilevanti. Questo a comprova del fatto che le opere di regimazione idraulica che sono state eseguite negli anni hanno razionalizzato il sistema di raccolta delle acque meteoriche che di fatto, sono convogliate, mediante un'opportuna rete di drenaggio direttamente a mare, non interessando più le aree oggetto di intervento.

SINTESI DELLA DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE

In questo paragrafo è riportata una sintesi delle indagini disponibili utilizzate per la costruzione della stratigrafia dell'area.

Nella Figura 2 è riportato uno stralcio della tavola 4.1 (allegato della relazione geologica e geotecnica di progetto) raffigurante l'ubicazione delle indagini disponibili per la zona di maggiore interesse.

Le indagini disponibili sono di seguito riassunte:

- Accertamenti geognostici eseguiti per il progetto preliminare del depuratore:
    - N° 3 sondaggi a carotaggio continuo, di cui due (S2 ed S3) nella zona del porto ed uno (S1) poco più a monte della via Aurelia (simboli di colore nero nella Figura 2);
    - N° 5 prove SPT nei terreni sedimentari e di riporto nei precedenti sondaggi;
    - N° 4 prove Lefranc di cui n° 3 a carico costante ed una a carico variabile per la determinazione della permeabilità dei terreni sedimentari attraversati ottenendo i seguenti valori di permeabilità dei terreni sedimentari:
        - S1 prof. da 3 a 4 m (ghiaia) K = 1,2 E-02cm/s (permeabilità buona);
        - S2 prof. da 4.50 a 5.5 m (sabbia e ghiaia limosa) K= 8,0E-04cm/s (permeabilità scarsa);
        - S2 prof. da 7.50 a 8.5 m (sabbia e ghiaia limosa) K= 7,0E-04cm/s (permeabilità scarsa);
        - S3 prof. da 3.00 a 4.0 m (materiale di riporto) K= 1,7E-02cm/s (permeabilità buona);
        - S3 prof. da 6.50 a 7.0 m (sabbia fine limosa) K= 2,0E-04cm/s (permeabilità scarsa).
    - piezometri a tubo microfessurato all'interno dei fori di sondaggio che hanno consentito di accertare come il livello della falda acquifera si attesti alla quota del livello del mare.

- Accertamenti geognostici eseguiti per il progetto definitivo 2011:
    - N° 5 sondaggi a carotaggio continuo (simboli di colore rosso nella Figura 2), di cui tre (S2, S1, S5) attrezzati con piezometro micro fessurato (le letture eseguite evidenziano che nel sondaggio S2 la quota della falda risulta posizionarsi al livello del mare ovvero a circa -1 m dal piano campagna mentre nei piezometri posti sul pendio a monte risulta presente un battente idrico che si attesta ad un livello compreso tra +3 e +4 metri rispetto al livello medio marino);
    - N° 5 analisi granulometriche eseguite sui sedimenti evidenziano una prevalenza di terreni con coefficiente di uniformità < 3.50 in presenza di un marcato contenuto in frazione sabbiosa. La frazione limo-argillosa è compresa tra il 2,3% ed il 5,6%.
    - Indagini geofisiche:
        - N° 2 indagini sismiche passive HSRV (la prova HVSR1 evidenzia un chiaro picco alla frequenza di 8 Hz coerente con uno spessore della copertura attorno a 4-5 metri mentre la prova HVSR 2 presenta una curva molto meno netta senza un preciso picco di amplificazione).
        - N° 5 indagini sismiche attive MASW (linee marroni nella Figura 2);
        - N° 4 indagini sismiche a rifrazione (linee magenta nella Figura 2).

- Nuova campagna geognostica:

- N° 4 sondaggi posizionati nella parte occidentale dell'area portuale, in punti ritenuti significativi rispetto alle previsioni delle opere in progetto (simboli di colore blu nella Figura 2);
- N° 4 indagini sismiche attive MASW (linee blu nella Figura 2).

Per approfondimenti vedasi la relazione geologica e geotecnica di progetto.

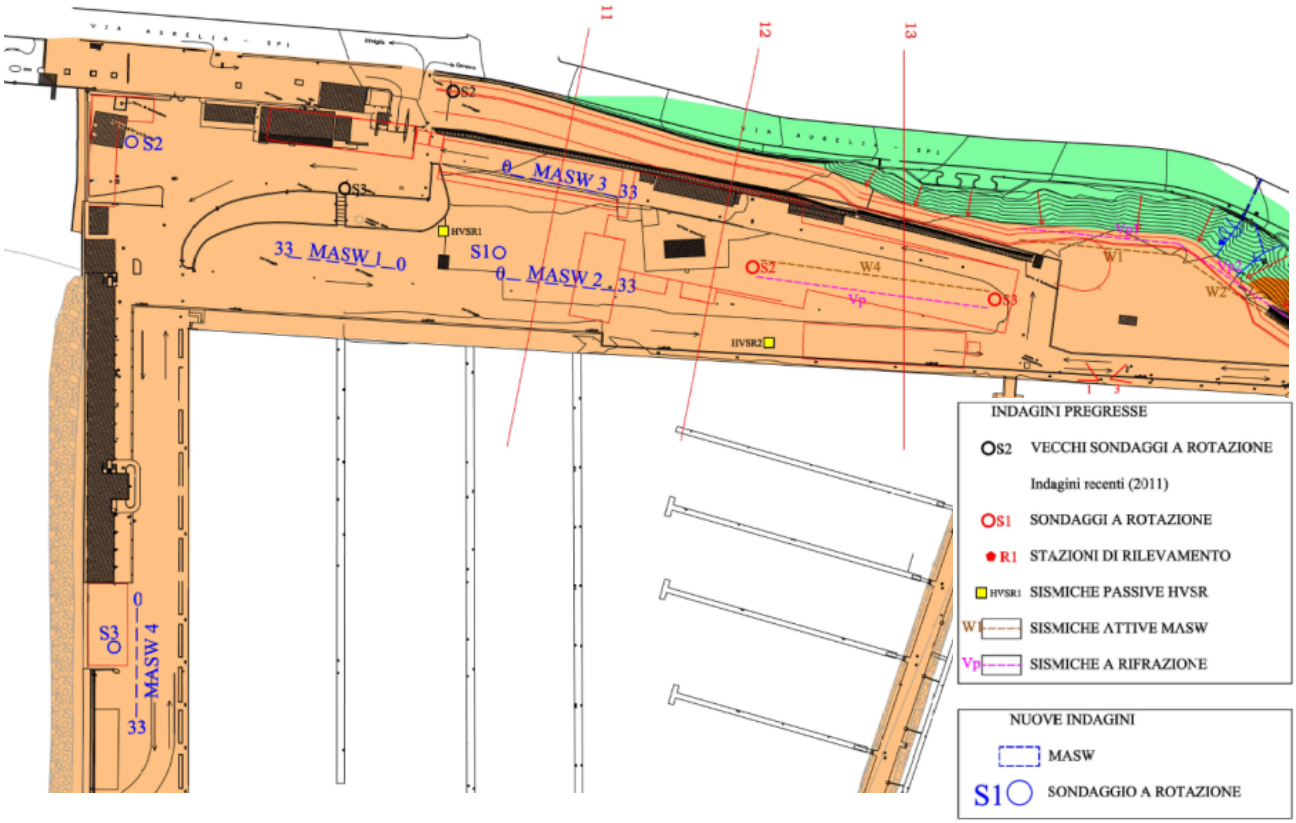

FIGURA 2 – ESTRATTO DELLA TAVOLA 4.1 ALLEGATA ALLA RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DI PROGETTO.

Nella Figura 3 sono riportate le sezioni geologiche (per la posizione in pianta vedasi la Figura 2) contenute nella tavola 4.2 allegata alla relazione geologica e geotecnica di progetto.

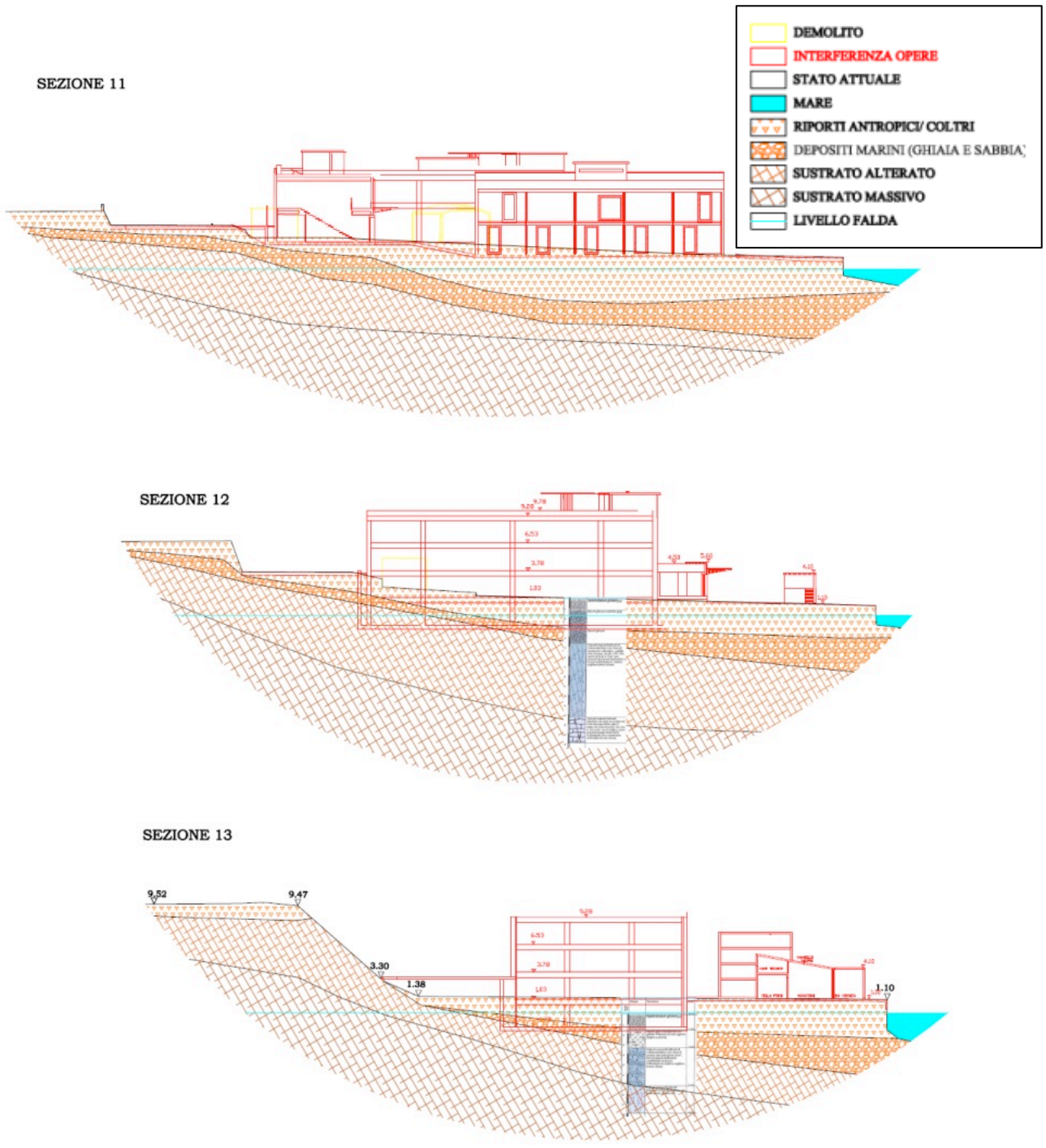

FIGURA 3 – STRALCIO DELLA TAVOLA 4.2 ALLEGATA ALLA RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DI PROGETTO (PER POSIZIONE IN PIANTA VEDASI LA FIGURA 2).

ANALISI DI FLUSSO

Al fine di quantificare l'interferenza della costruzione del parcheggio interrato sul deflusso sotterraneo atteso in occasione di eventi pluviometri estremi o prolungati è stata condotta una simulazione numerica con il codice di calcolo agli elementi finiti FEFLOW (Diersch, 2014) distribuito dalla DHI. Questo codice consente di simulare processi di flusso e trasporto in mezzi porosi, in condizioni stazionarie o transitorie.

Codice di calcolo adottato

Il codice di calcolo FEFLOW permette lo studio di problemi di flusso e trasporto accoppiati con l'inclusione delle fisiche idraulica, termica e chimica integralmente accoppiate. Le analisi possono essere condotte sia su fenomeni stazionari sia su fenomeni transitori. Per le analisi oggetto del presente studio si sono impiegate le potenzialità di calcolo di flusso idraulico in mezzi porosi multifase in tre dimensioni e condizioni transitorie. I modelli adottati permettono quindi di considerare il flusso di falda sia all'interno di mezzo saturo, sia di mezzo insaturo o parzialmente saturo.

Il software si compone di un ambiente di modellazione e di calcolo con interfaccia grafica che integra anche i comandi di diversi algoritmi di genesi della mesh bidimensionale e di un ambiente di interpretazione dei risultati numerici. Le stesse funzioni dell'ambiente grafico possono essere anche controllate con modalità da riga di comando. La suddivisione del dominio spaziale bi o tridimensionale può essere svincolata dagli algoritmi direttamente implementati nel software ed essere operata con altri algoritmi dedicati, inclusi algoritmi capaci di generare mesh non strutturate tridimensionali.

Il controllo della convergenza del risultato è operato sul soddisfacimento di una tolleranza sul rapporto tra l'errore medio assoluto riferito al carico idraulico e il corrispondente valore massimo nelle condizioni iniziali ed al contorno. L'errore assoluto è mediato su tutti i nodi di calcolo inclusi nel dominio e la sua stima è basata sullo scarto quadratico medio. Tale criterio è inoltre adottato dal software per il calcolo automatico dei time step di calcolo.

L'affidabilità del codice di calcolo è garantita dall'esistenza di ampia documentazione di supporto, dalla validazione mediante problemi con risoluzione analitica nota e di esperienze pregresse.

Descrizione del modello numerico

Sulla base della documentazione, dei rilievi e delle indagini disponibili è stata costruita la geometria del modello numerico.

La geometria della superficie topografica è stata definita accoppiando le curve di livello della carta tecnica regionale in scala 1:5000 (fonte dei dati: geoportale Regione Liguria) al rilievo topografico condotto nella zona di intervento. Nella Figura 4 è mostrata l'area di interesse con

l'indicazione della zona a monte dell'edificio caratterizzata dalla presenza di una coltre eluvio alluviale di spessore massimo dell'ordine di 8-10 m (valori dedotti dalle informazioni disponibili). Si può in aggiunta notare l'estensione del modello numerico scelta in modo da poter simulare in modo adeguato il deflusso idrico sotterraneo proveniente da monte del parcheggio sotterraneo in progetto.

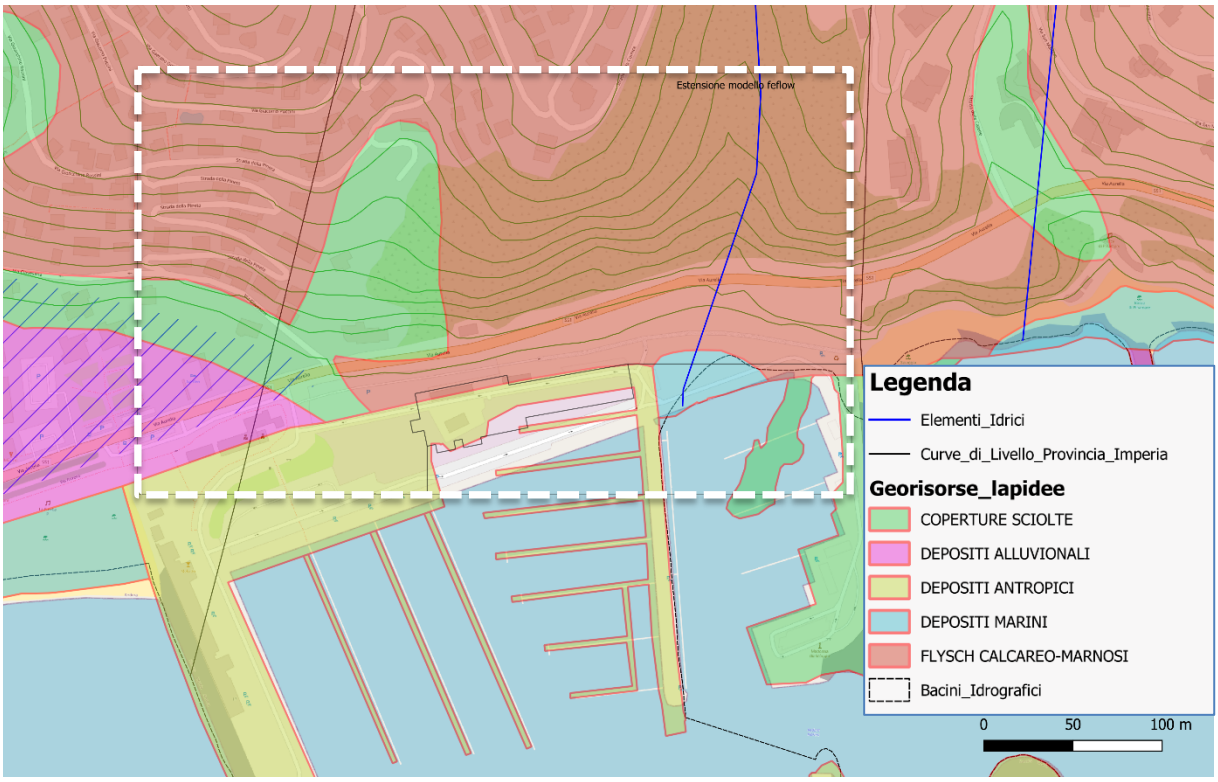

FIGURA 4 – STRALCIO DELLA C.T.R. IN SCALA 1:5000 (FONTE: GEOPORTALE REGIONE LIGURIA) CON LA SOVRAPPOSIZIONE DELLE GEORISORSE LAPIDEE, GLI ELEMENTI IDRICI, L'UBICAZIONE DEL PARCHEGGIO SOTTERRANEO E L'ESTENSIONE DEL MODELLO NUMERICO (LINEA TRATTEGGIATA BIANCA).

Dopo aver definito la superficie topografica si è passati alla ricostruzione della geometria della sommità del substrato roccioso al fine di simulare il flusso idrico all'interno della coltre e dello strato di riporto superficiali. In via semplificata si è quindi considerata la presenza di uno strato superficiale molto più permeabile di quello inferiore rappresentante il substrato roccioso. Come deducibile dalla Figura 4 lungo il versante sono presenti zone in cui il substrato roccioso risulta essere affiorante.

La superficie rappresentante il limite superiore del substrato roccioso è stata definita a partire dalle indicazioni fornite dalle indagini geologiche disponibili (vedasi paragrafo "Sintesi della documentazione disponibile"). Nella Figura 5 è mostrata la geometria di tale superficie insieme a quella topografica del versante.

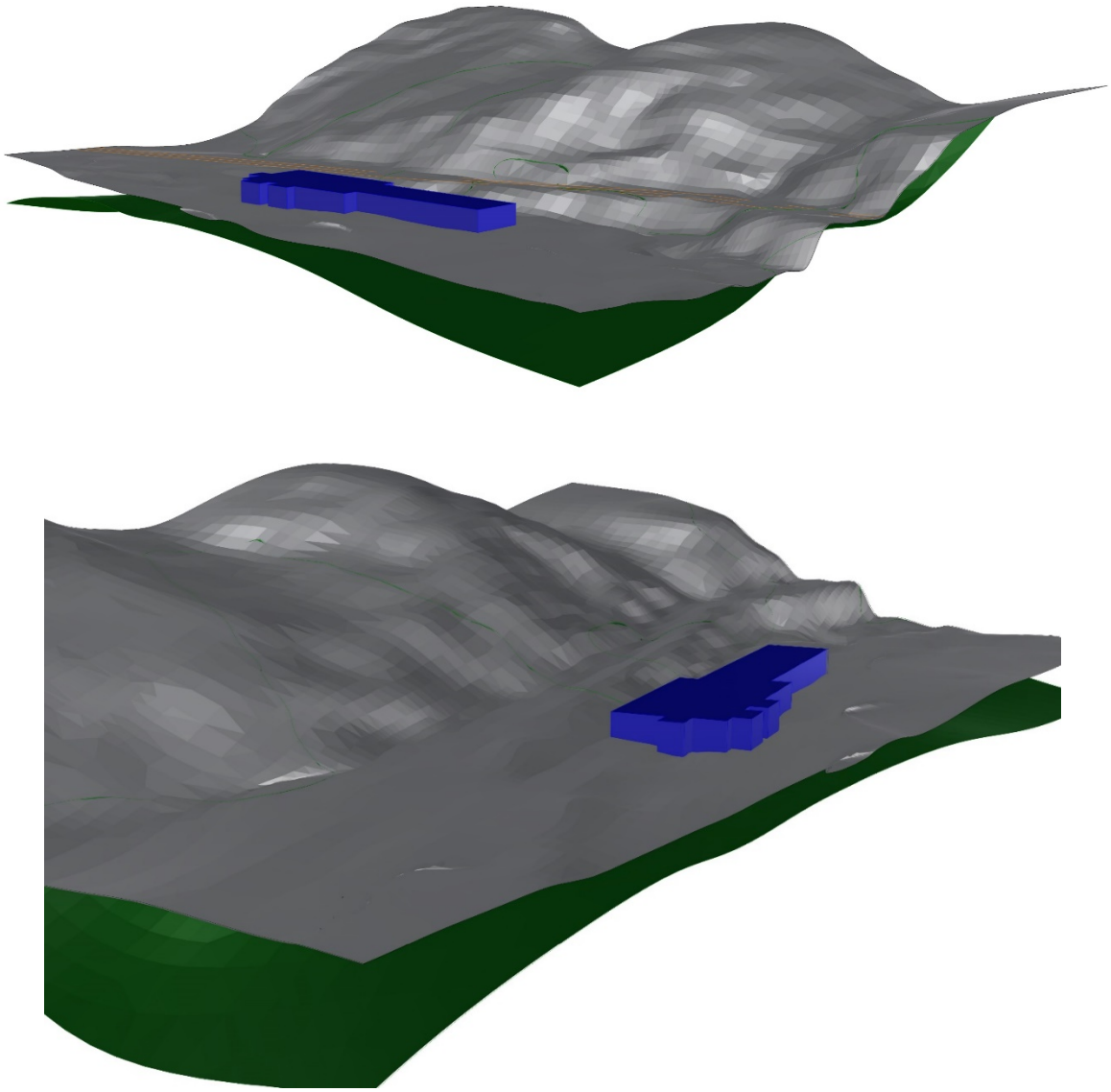

FIGURA 5 – GEOMETRIA DEL VERSANTE E DELLA SOMMITÀ DEL SUBSTRATO ROCCIOSO CON INDICAZIONE DELL'UBICAZIONE DEL PARCHEGGIO INTERRATO.

Definita la geometria tridimensionale del versante si è dunque passati alla generazione del modello numerico nel codice di calcolo Feflow. Nella Figura 6 è mostrato il modello con l'indicazione delle sue dimensioni nelle tre direzioni spaziali (400 x 236 x 94 m). Il modello è composto da 320˙280 elementi prismatici a base triangolare e da 172˙314 nodi.

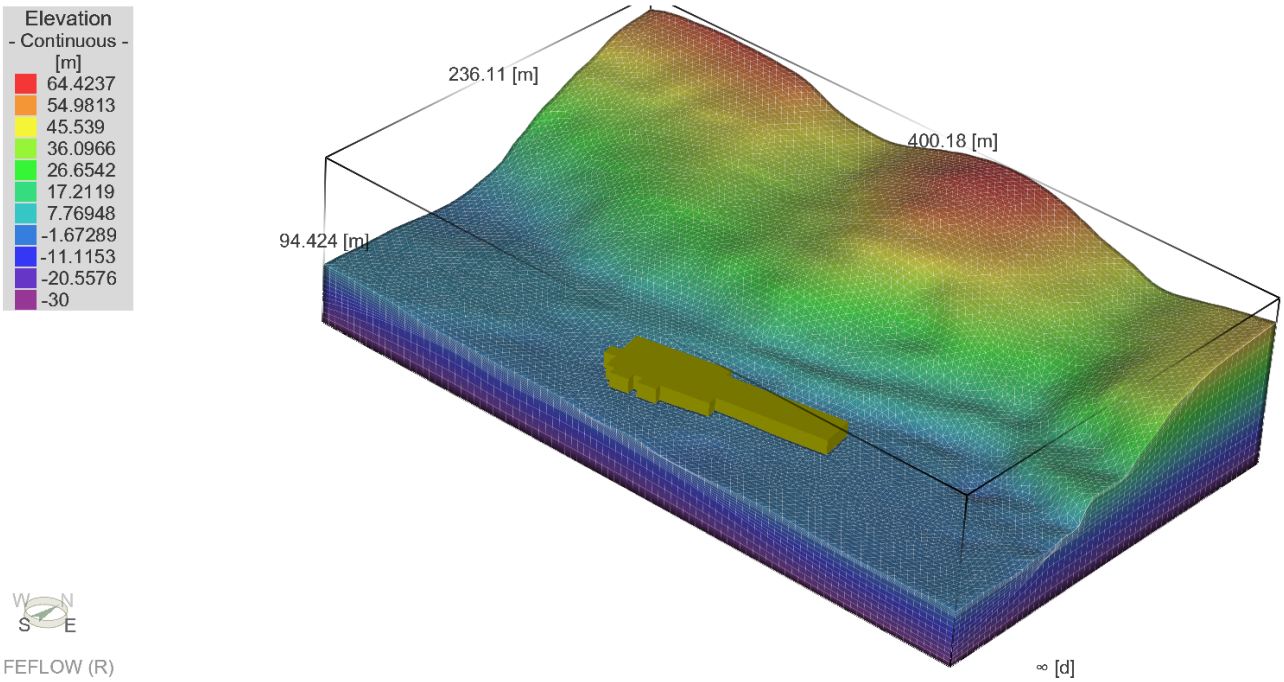

FIGURA 6 – MODELLO NUMERICO: VISTA DI INSIEME.

Il particolare della geometria della superficie rappresentante il limite superiore del substrato roccioso è illustrato nella Figura 7. È possibile osservare la zona della coltre detritica eluvio colluviale ad elevata permeabilità posta a monte dell'edificio di interesse.

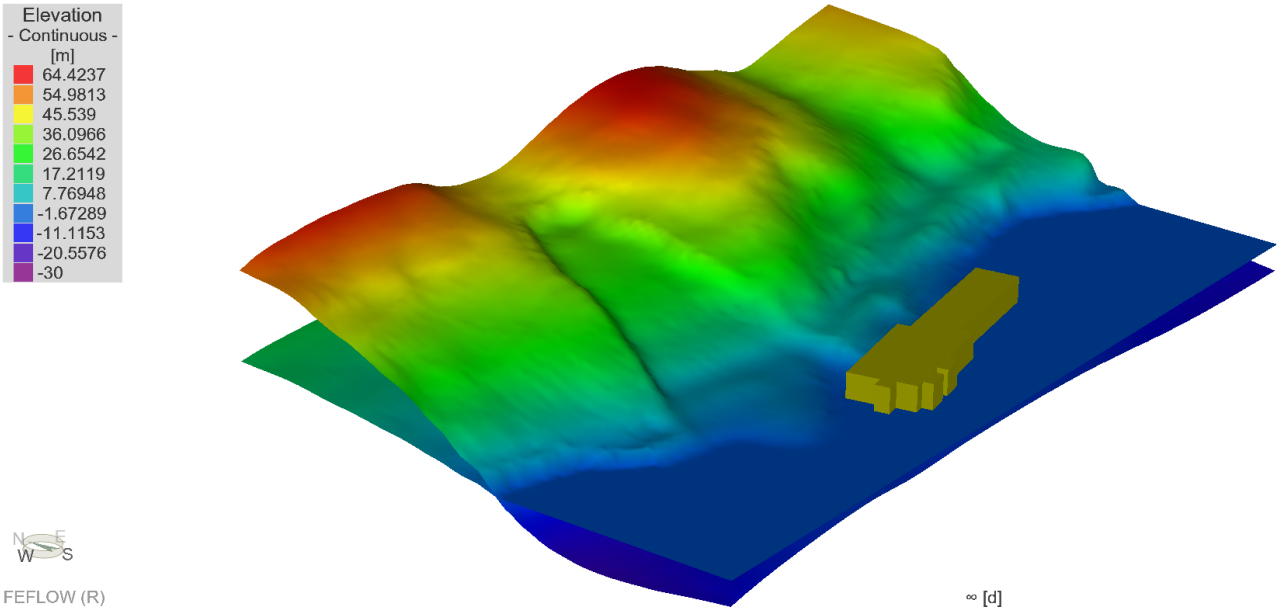

FIGURA 7 – MODELLO NUMERICO: PARTICOLARE DELLA SUPERFICIE SOMMITALE DEL SUBSTRATO ROCCIOSO.

Come già in parte discusso, il modello è stato suddiviso in direzione verticale in due strati:

- uno strato superficiale con permeabilità elevata comprendente i riporti e la coltre eluvio colluviale;
- uno strato più profondo a bassa permeabilità rappresentante il substrato roccioso.

I parametri idraulici assunti nella modellazione numerica sono riassunti nella Tabella 1.

TABELLA 1 – PARAMETRI IDRAULICI ASSUNTI NEL MODELLO NUMERICO FEFLOW.

	COLTRE E RIPORTI	SUBSTRATO ROCCIOSO
CONDUCIBILITÀ IDRAULICA ORIZZONTALE K_H (m/s)	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$
RAPPORTO CONDUCIBILITÀ IDRAULICA VERTICALE/ORIZZONTALE K_V/K_H	1.0	1.0

Nella Figura 8 è mostrata una vista dall'alto del modello con l'indicazione della posizione delle sezioni verticali e la zona interessata da maggiore infiltrazione (più permeabile) a cui si farà riferimento nel seguito del presente rapporto. Le quattro sezioni verticali del modello, nelle quali è possibile osservare la zona permeabile più superficiale e quella costituita dal substrato roccioso, sono illustrate da Figura 9 a Figura 12.

Per discretizzare adeguatamente il modello nella direzione verticale sono state inserite 18 suddivisioni che nel codice feflow prendono il nome di "slices". Tale suddivisione risulta particolarmente utile in quanto, rispetto a tali "slices", il codice di calcolo consente di visualizzare le principali variabili di calcolo.

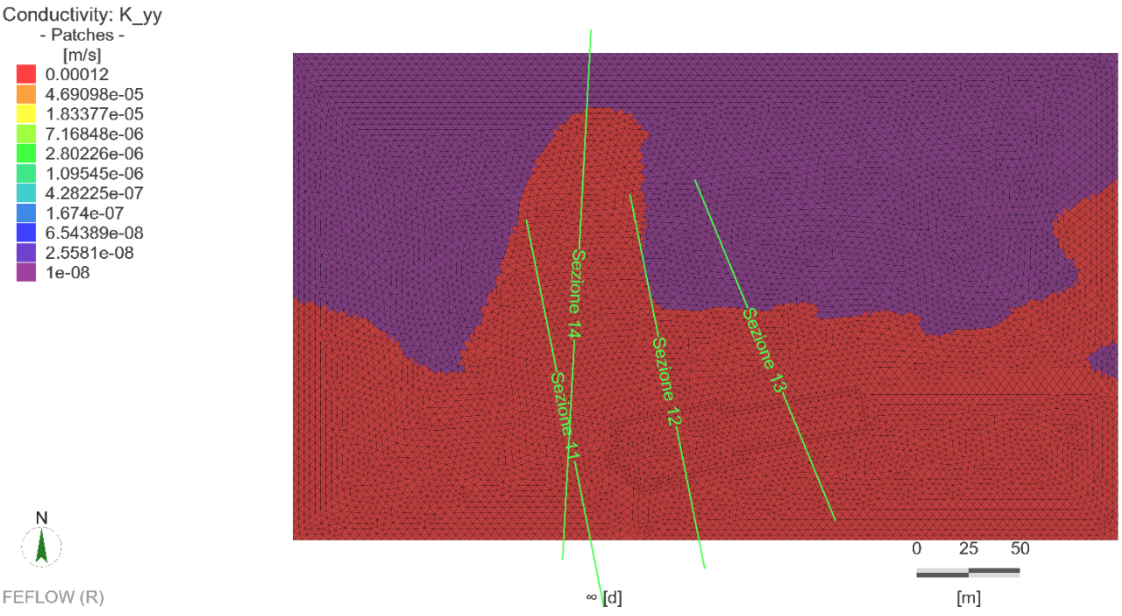

FIGURA 8 – VISTA DALL'ALTO DEL MODELLO NUMERICO.

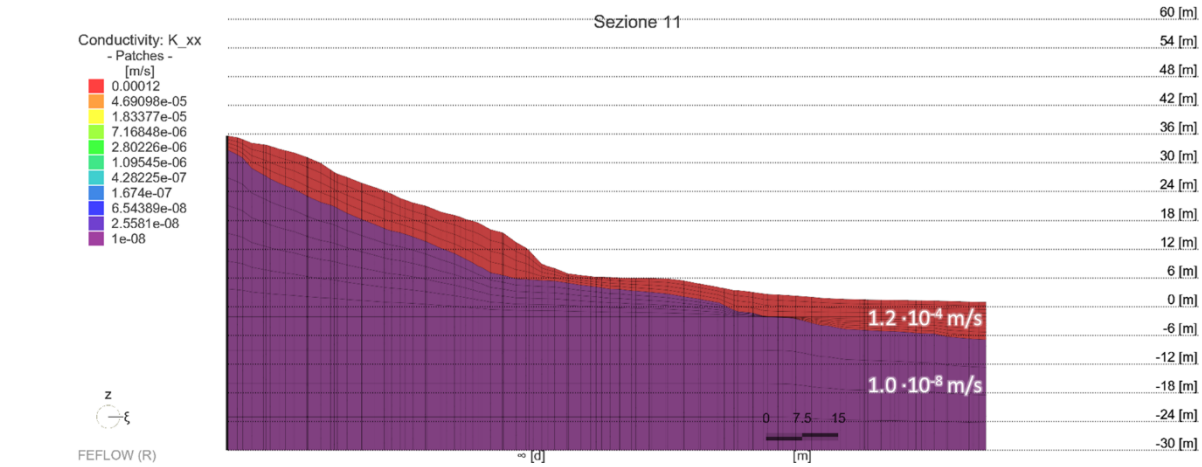

FIGURA 9 – SEZIONE 11: DISTRIBUZIONE DELLA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA.

FIGURA 10 – SEZIONE 12: DISTRIBUZIONE DELLA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA.

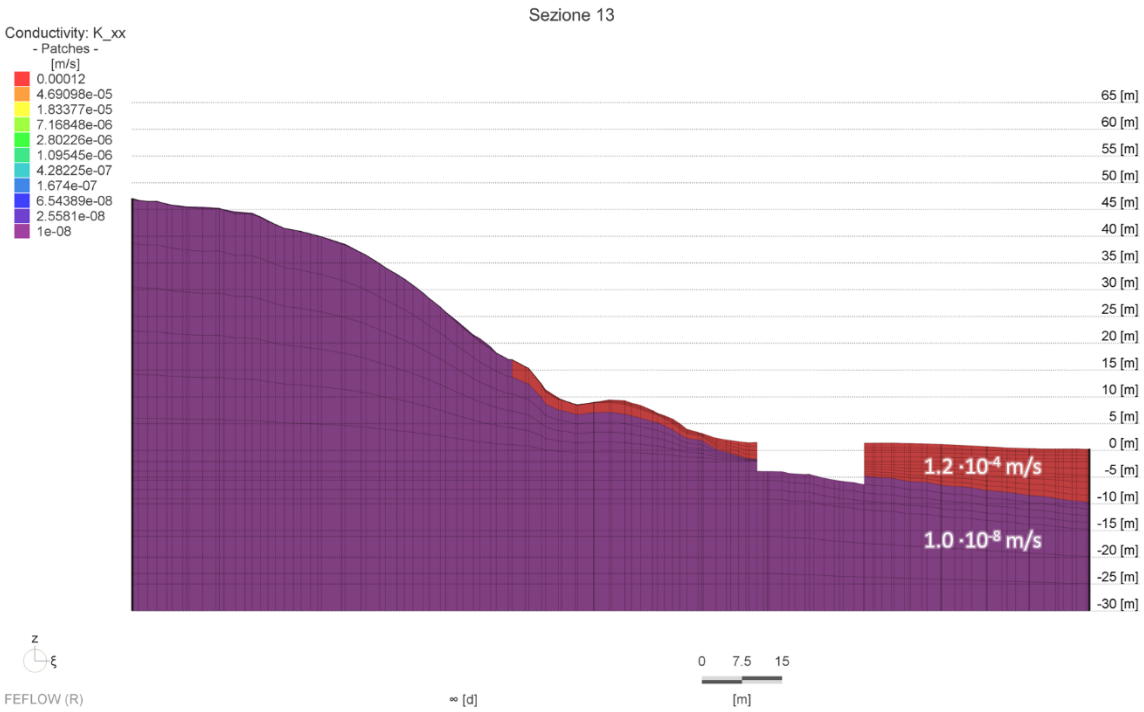

FIGURA 11 – SEZIONE 13: DISTRIBUZIONE DELLA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA.

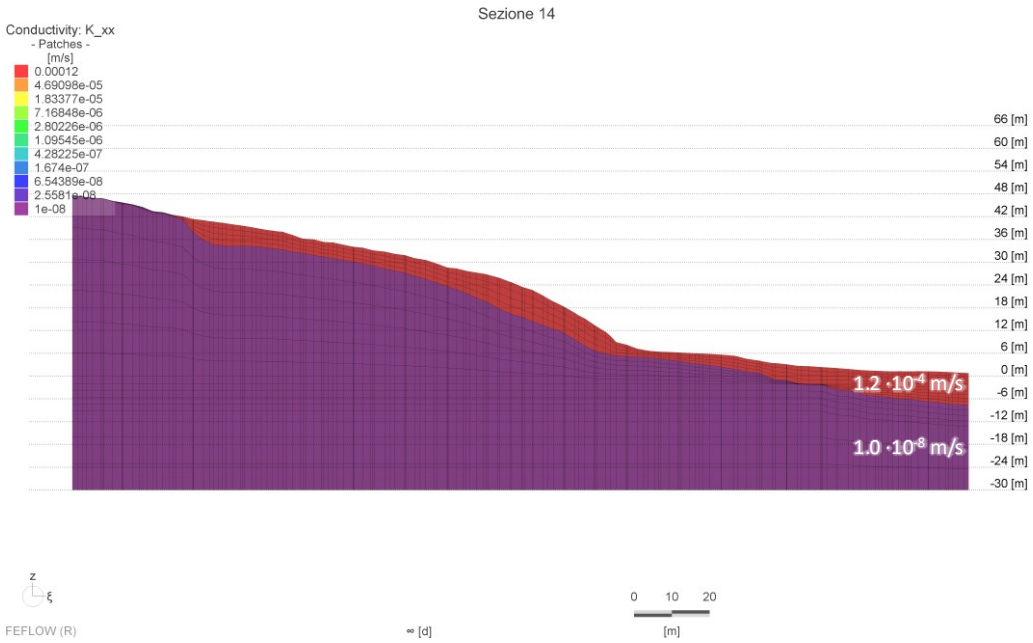

FIGURA 12 – SEZIONE 14: DISTRIBUZIONE DELLA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA.

Le condizioni al contorno assegnate al modello sono:

- bordi impermeabili lungo il perimetro e la base del parcheggio interrato;
- carico idraulico costante rappresentante il livello medio marino lungo il lato del modello verso il mare;

- infiltrazione di acqua nel modello attraverso la superficie caratterizzata dalla presenza della coltre (vedasi Figura 8) e dotata di una maggiore permeabilità. Semplificando, l'acqua derivante dalle precipitazioni una volta raggiunto il suolo è in parte soggetta al deflusso superficiale ed in parte ad infiltrazione alimentando il deflusso sotterraneo. Al di fuori della zona interessata dalla coltre si è assunto che l'acqua piovana non sia soggetta ad infiltrazione ma interamente a deflusso superficiale venendo poi intercettata dalla strada statale Aurelia posta a valle.

Nel caso in esame si è quindi applicata al modello un'infiltrazione in modo da determinare l'innalzamento della piezometrica iniziale (posta alla quota del mare) fino a raggiungere i livelli voluti. A tale proposito sono state assunte due differenti ipotesi di calcolo caratterizzate da due differenti posizioni della piezometrica:

- una rappresentante una situazione più verosimile, anche sulla base delle condizioni rilevate nel corso delle indagini condotte nel 2011 e descritte sinteticamente nel paragrafo "Sintesi della documentazione disponibile", con battente idrico, nella zona immediatamente a monte dell'edificio, variabile da circa +4 a +6 m (ottenuta con un'infiltrazione di 86 mm/giorno), denominata livello 1;
- una seconda rappresentativa di un evento piovoso estremo o prolungato caratterizzato da una piezometrica prossima al piano campagna del versante (ottenuta con un'infiltrazione di 347 mm/giorno), denominata livello 2.

La seconda piezometrica rappresenta una situazione molto cautelativa e probabilmente poco verosimile, in riferimento all'interferenza del parcheggio sotterraneo in progetto, in quanto la gran parte delle acque meteoriche superficiali e sotterranee, come già anticipato nel paragrafo "Sintesi della documentazione disponibile", è raccolta dalla rete di drenaggio presente lungo la via Aurelia e dallo scarico del sovrastante parcheggio lato levante (non inseriti nel modello).

Descrizione dei risultati delle analisi

Nel paragrafo che segue si descrivono i risultati delle analisi numeriche di flusso eseguite in condizioni stazionarie. Le analisi hanno preso in considerazione sia lo stato di fatto che la situazione di progetto per entrambe le ipotesi di calcolo sul livello piezometrico. Conseguentemente risultano quattro diverse analisi come sintetizzato nella Tabella 2.

TABELLA 2 – ANALISI ESEGUITE E CONDIZIONI.

Analisi	Condizione di progetto	Livello piezometrico
A1	Situazione pre-intervento (stato di fatto)	1
A2	Situazione pre-intervento (stato di fatto)	2
B1	Situazione post-intervento (stato di progetto)	1
B2	Situazione post-intervento (stato di progetto)	2

Confrontando i risultati delle analisi nella situazione pre-intervento (stato di fatto) con quella post-intervento (stato di progetto) è stato possibile valutare l'entità dell'interferenza del parcheggio interrato sul deflusso delle acque sotterranee. Nel seguito si riportano i risultati delle analisi distinti per ciascuno dei due livelli di falda assunti.

Risultati analisi con piezometria iniziale al livello 1 (analisi A1 e B1)

I risultati ottenuti nelle condizioni pre e post-intervento per il livello piezometrico 1 sono riportati da Figura 13 a Figura 20. Il confronto tra le figure consente di apprezzare l'influenza dell'opera rispetto al deflusso idrico sotterraneo.

Nelle analisi pre-intervento è possibile osservare la piezometrica indisturbata al livello 1. Le sezioni 11 e 14 non sono interessate dalla presenza del parcheggio interrato mentre nelle sezioni 12 e 13 si può meglio valutare l'entità dell'interferenza dell'intervento. A tale riguardo, confrontando in particolare i risultati relativi a queste due ultime sezioni, non si osserva una apprezzabile interferenza sul livello idrico. È importante evidenziare che la profondità del parcheggio interrato è stata estesa nel modello numerico ben oltre la platea di fondazione, fino ad intercettare il substrato roccioso poco permeabile in modo da tenere anche in conto dell'immorsamento dei diaframmi che saranno realizzati per l'esecuzione dello scavo.

Per avere una migliore visione dell'eventuale interferenza, nella Figura 21 e nella Figura 22 è riportata una vista dall'alto dei vettori di flusso (anche in questo caso per la situazione pre-intervento e per quella post-intervento). In prossimità della zona del parcheggio si può osservare che il flusso, proveniente da monte, incontrando l'opera devia in modo da superare tale ostacolo. Questa situazione, tuttavia, non comporta un innalzamento apprezzabile della piezometrica a monte. Infine, nella Figura 23 e nella Figura 24 è illustrato l'andamento della piezometrica e quindi dei carichi idraulici valutati rispetto alla sommità del substrato. È

possibile osservare un limitato innalzamento della piezometrica (al massimo dell'ordine del metro) concentrato in una ristretta zona posta a monte del parcheggio dalla parte ovest (sinistra in figura).

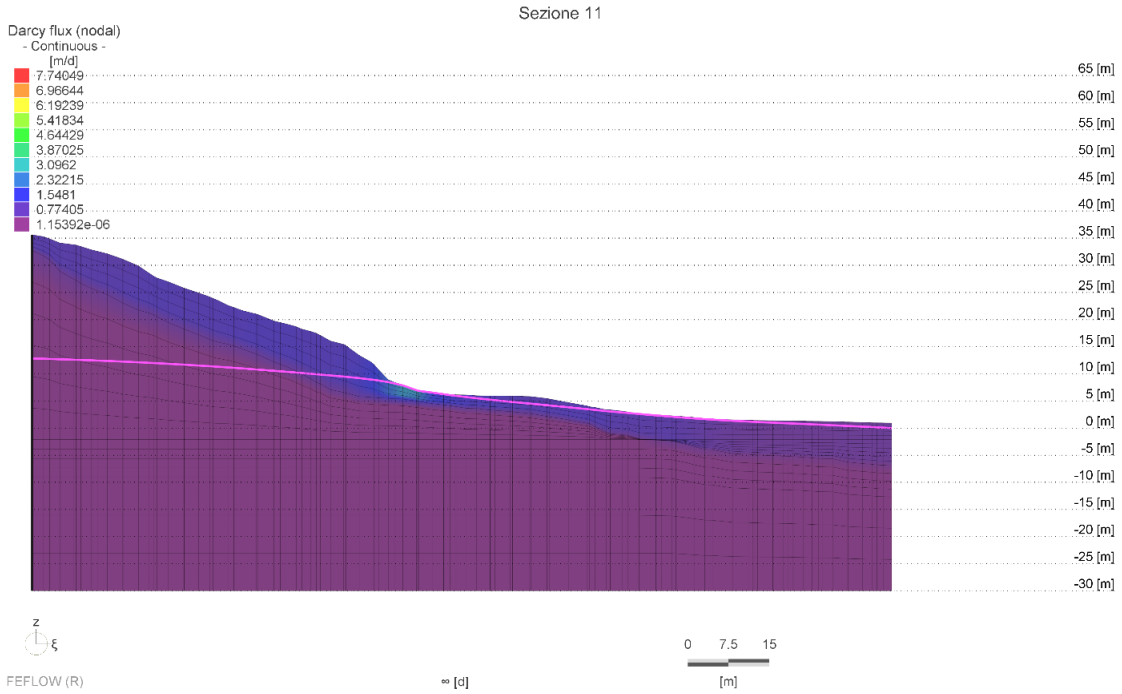

FIGURA 13 – SEZIONE 11: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI A1 (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

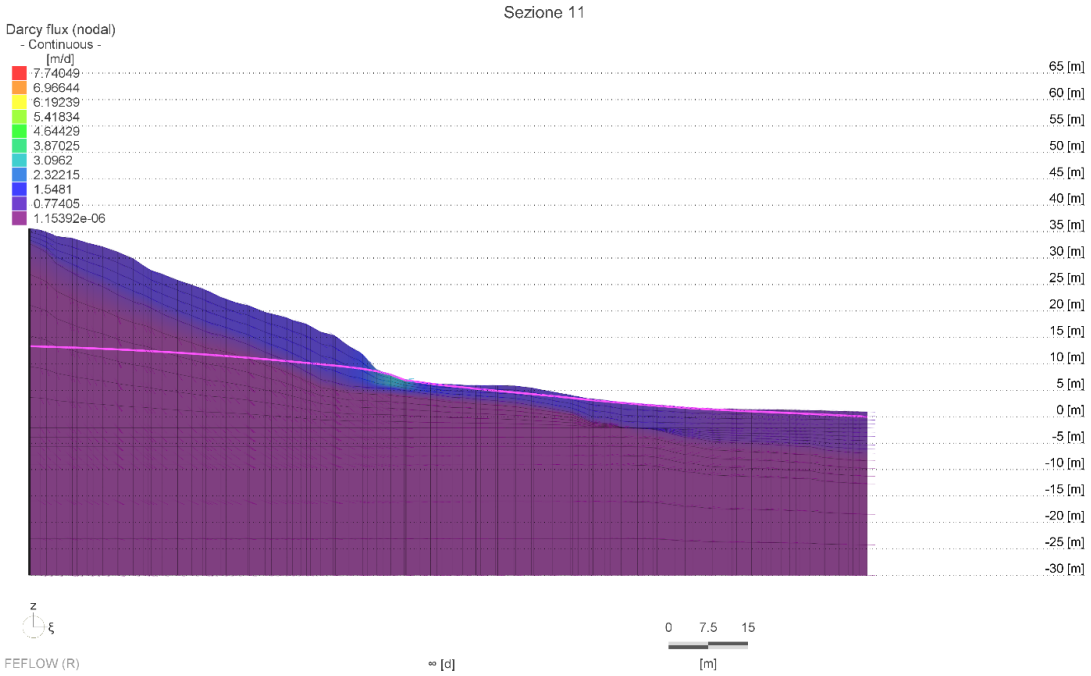

FIGURA 14 – SEZIONE 11: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI B1 (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

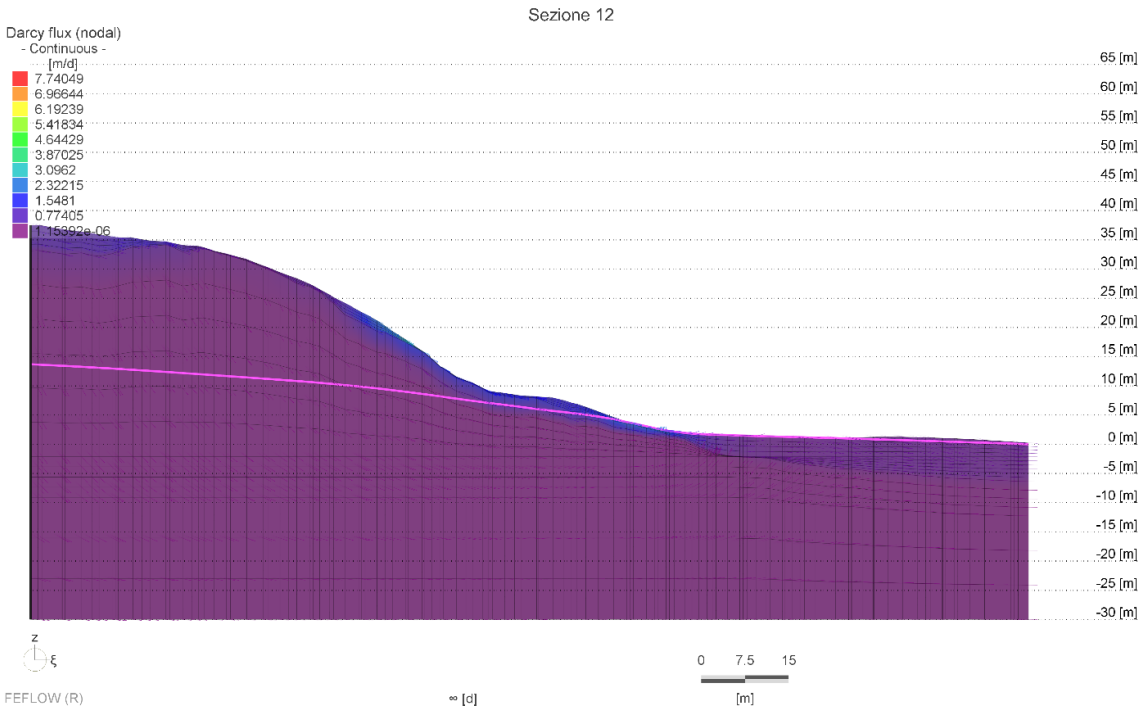

FIGURA 15 – SEZIONE 12: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI A1 (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

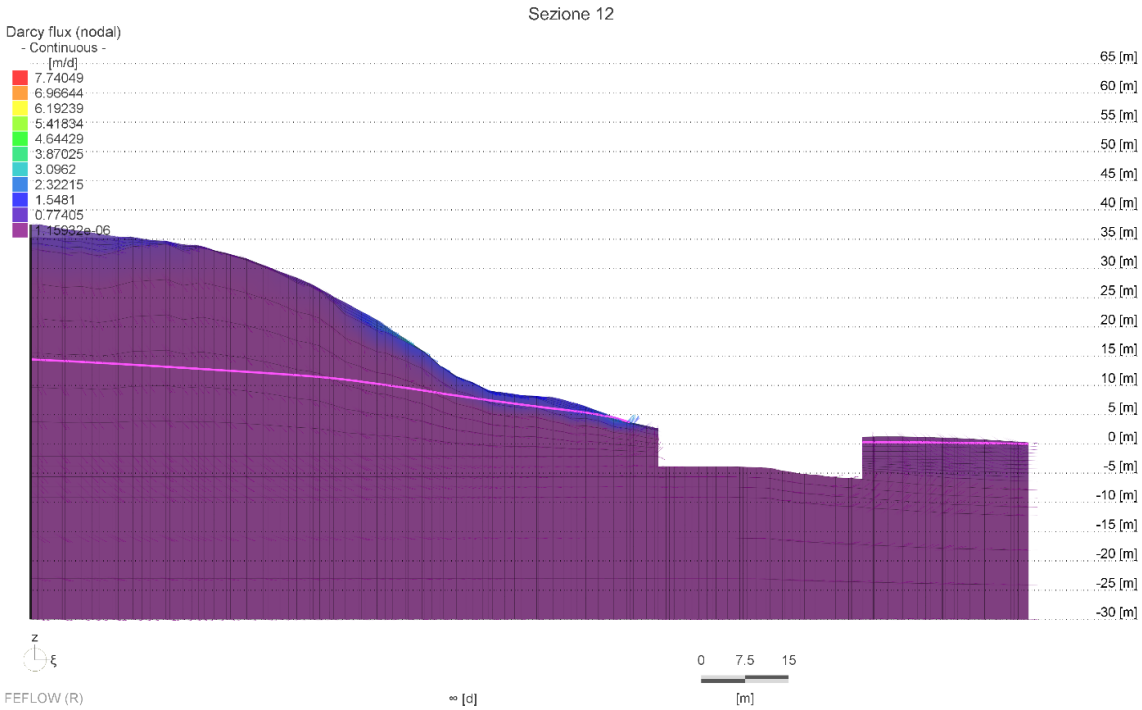

FIGURA 16 – SEZIONE 12: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI B1 (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

FIGURA 17 – SEZIONE 13: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI A1 (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

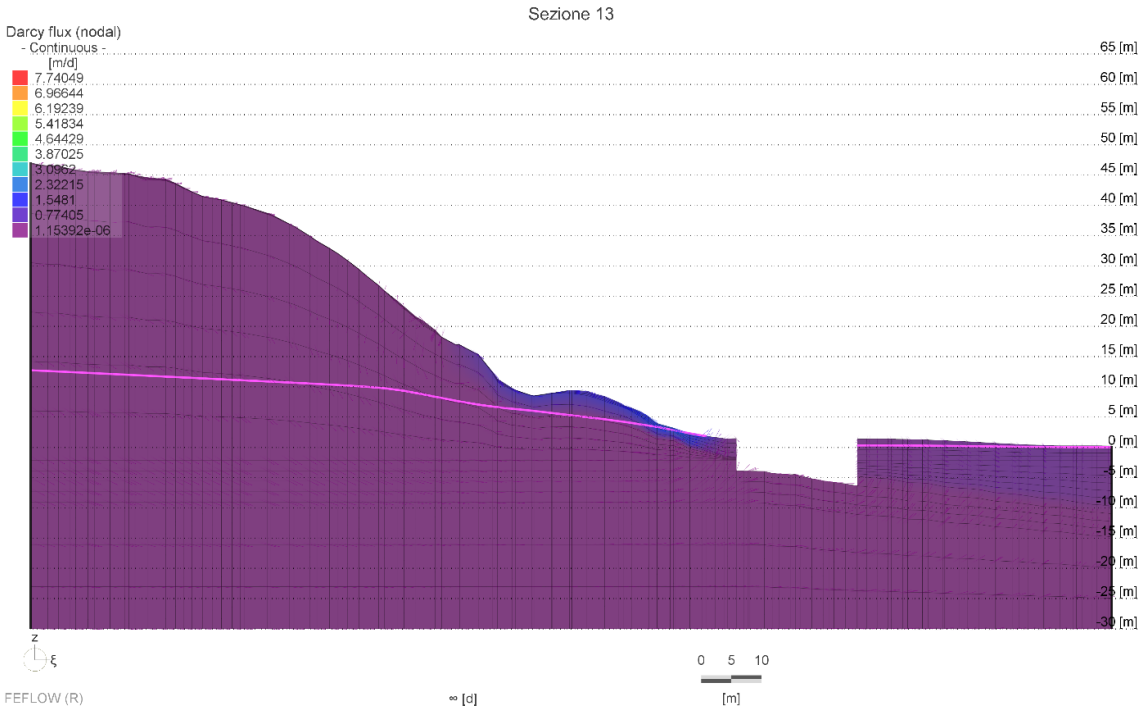

FIGURA 18 – SEZIONE 13: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI B1 (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

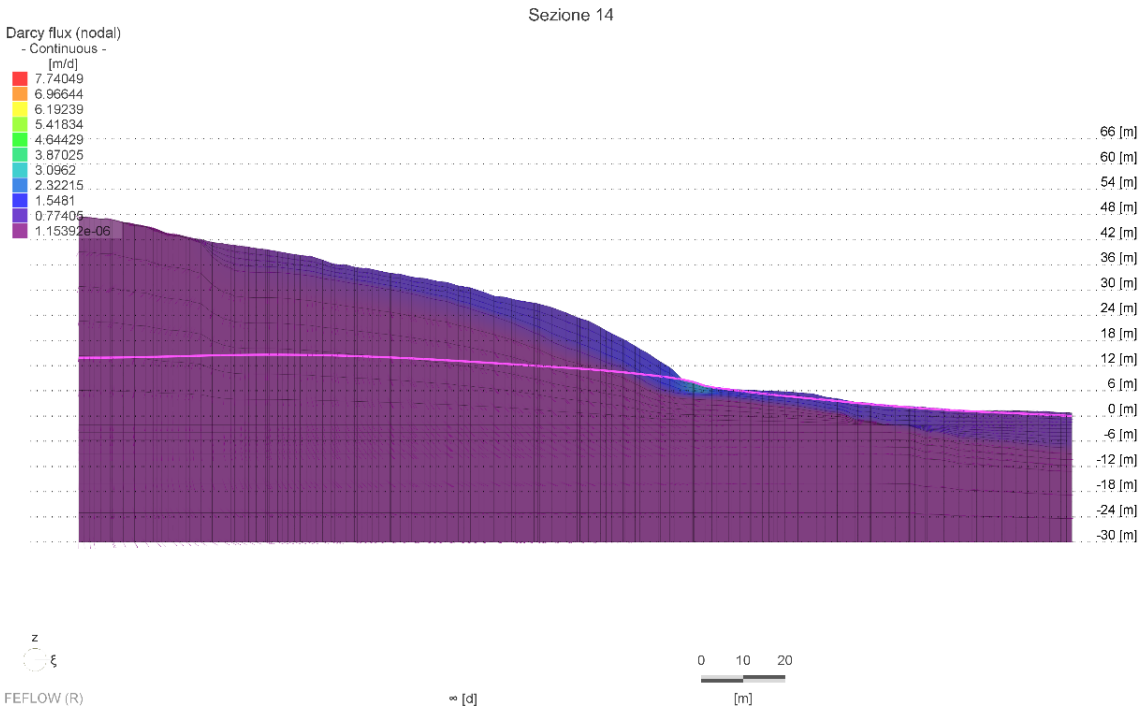

FIGURA 19 – SEZIONE 14: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI A1 (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

FIGURA 20 – SEZIONE 14: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI B1 (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

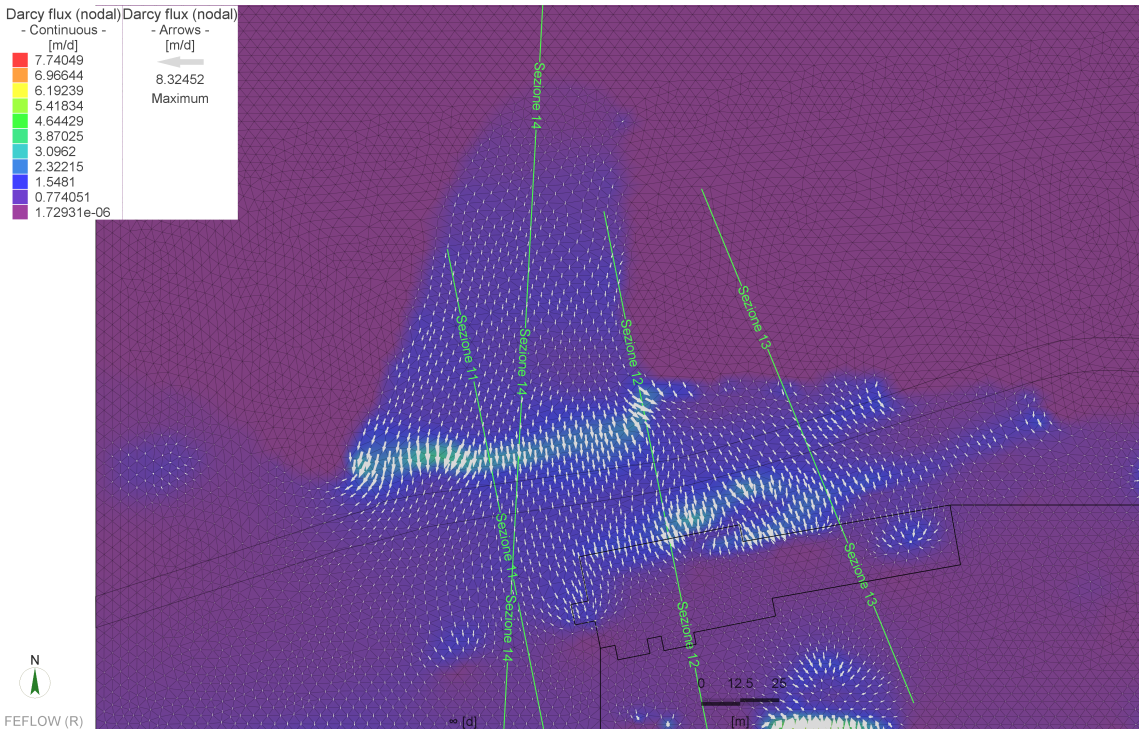

FIGURA 21 – ANALISI A1: VISTA IN PIANTA DEL MODELLO CON INDICAZIONE DEI VETTORI DI FLUSSO PER LA SLICE PROSSIMA ALLA SUPERFICIE (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

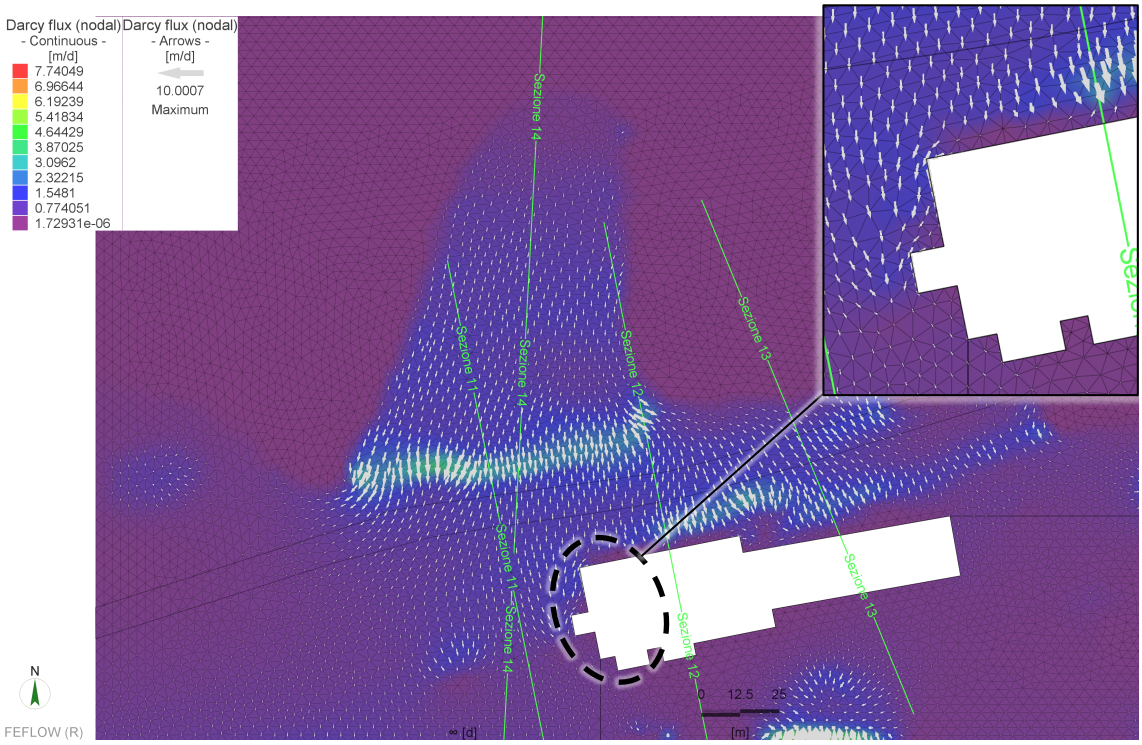

FIGURA 22 – ANALISI B1: VISTA IN PIANTA DEL MODELLO CON INDICAZIONE DEI VETTORI DI FLUSSO PER LA SLICE PROSSIMA ALLA SUPERFICIE (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

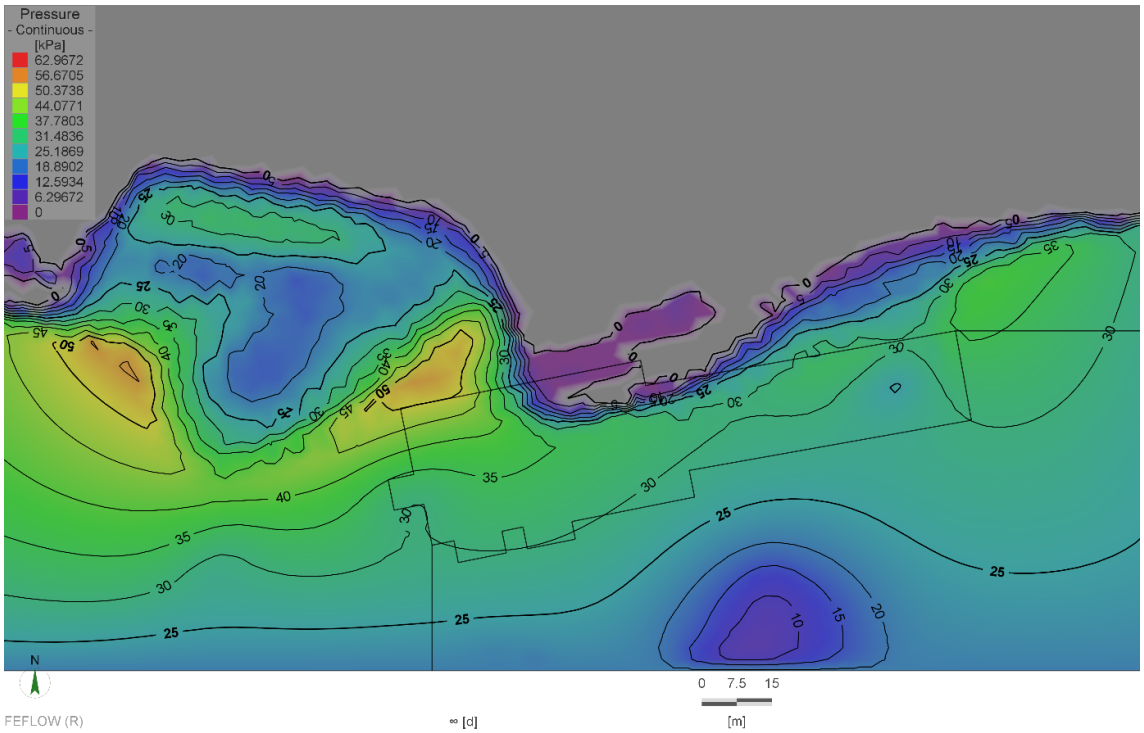

FIGURA 23 – ANALISI A1: CARICO IDRAULICO RISPETTO ALLA SOMMITÀ DEL SUBSTRATO ROCCIOSO (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

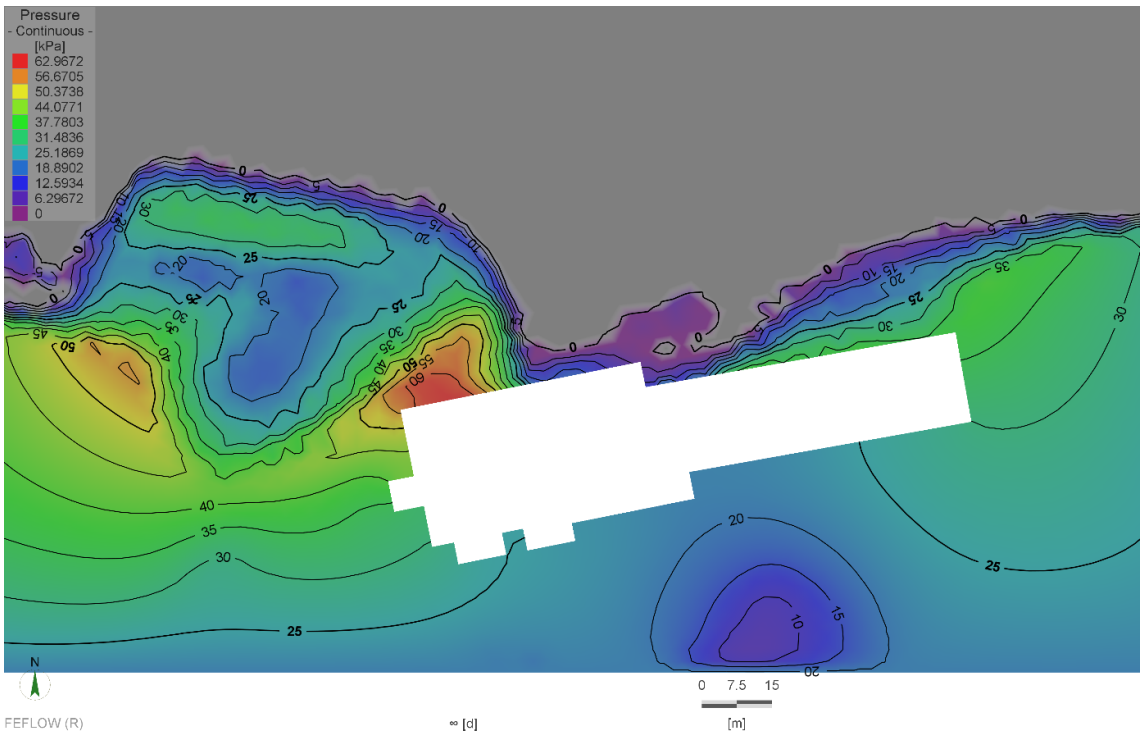

FIGURA 24 – ANALISI B1: CARICO IDRAULICO RISPETTO ALLA SOMMITÀ DEL SUBSTRATO ROCCIOSO (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 1).

Risultati analisi con piezometria iniziale al livello 2 (analisi A2 e B2)

In analogia a quanto riportato nel paragrafo precedente, nel seguito si descrivono i risultati delle analisi condotte in presenza del livello piezometrico più alto al fine di generare, in

particolare nella falda detritica a monte del parcheggio sotterraneo in progetto (indicata nella carta geologica come coltre eluvio colluviale, con clasti eterometrici in matrice pelitica e/o sabbioso ghiaiosa), dei gradienti idraulici elevati che si potrebbero originare in occasione di eventi pluviometrici estremi o prolungati.

Come già osservato per il livello piezometrico 1, anche in questo caso l'interferenza causata dal parcheggio sotterraneo al deflusso idrico risulta essere molto limitata. Nelle sezioni verticali (da Figura 25 a Figura 32), ed in particolare nella sezione 14, è possibile osservare il flusso sotterraneo concentrato essenzialmente nella coltre superficiale. Il flusso idrico con i relativi vettori è mostrato rispettivamente nella Figura 33 per la situazione pre-intervento e nella Figura 34 per quella post-intervento. Si vede come il bordo impermeabile del parcheggio determina una deviazione del flusso tale da aggirare l'ostacolo da esso rappresentato.

Al fine di poter valutare con maggiore chiarezza le differenze tra la situazione pre (Figura 35) e post-intervento (Figura 36) è mostrata la distribuzione dei carichi idraulici valutati rispetto alla sommità del substrato roccioso. Come osservato per il livello 1 della piezometrica anche in questo caso una leggera interferenza (innalzamento del livello idrico dell'ordine del metro) è riscontrabile per una lunghezza limitata sul lato nord-ovest del parcheggio interrato in progetto.

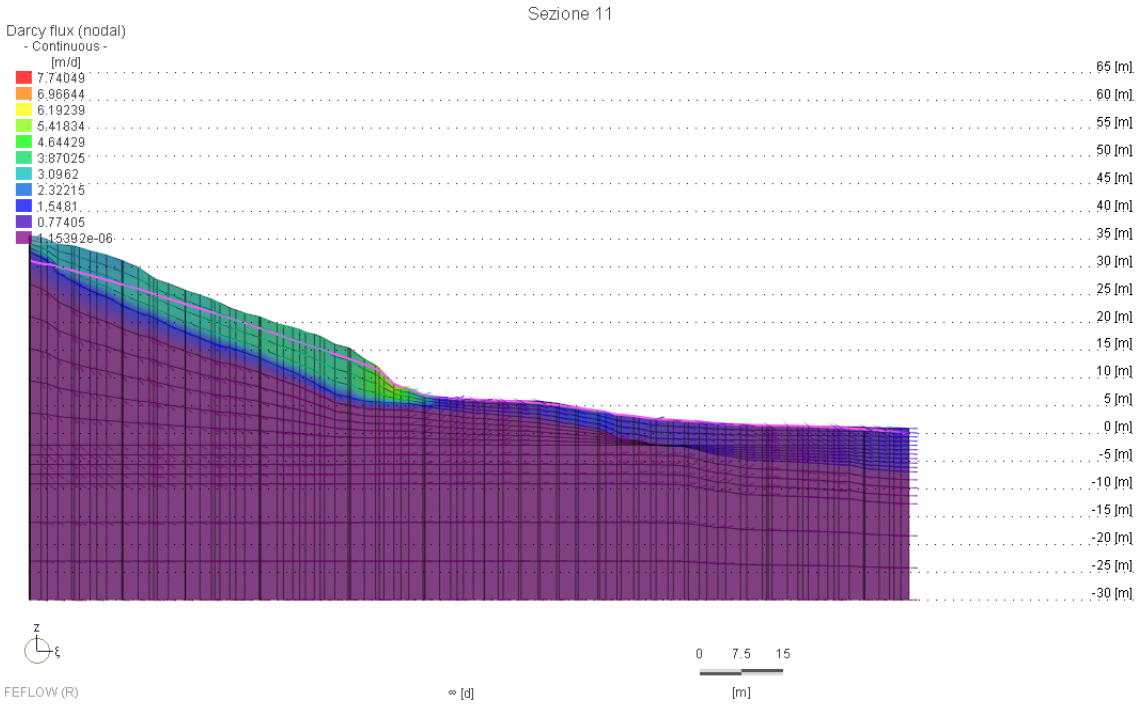

FIGURA 25 – SEZIONE 11: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI A2 (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

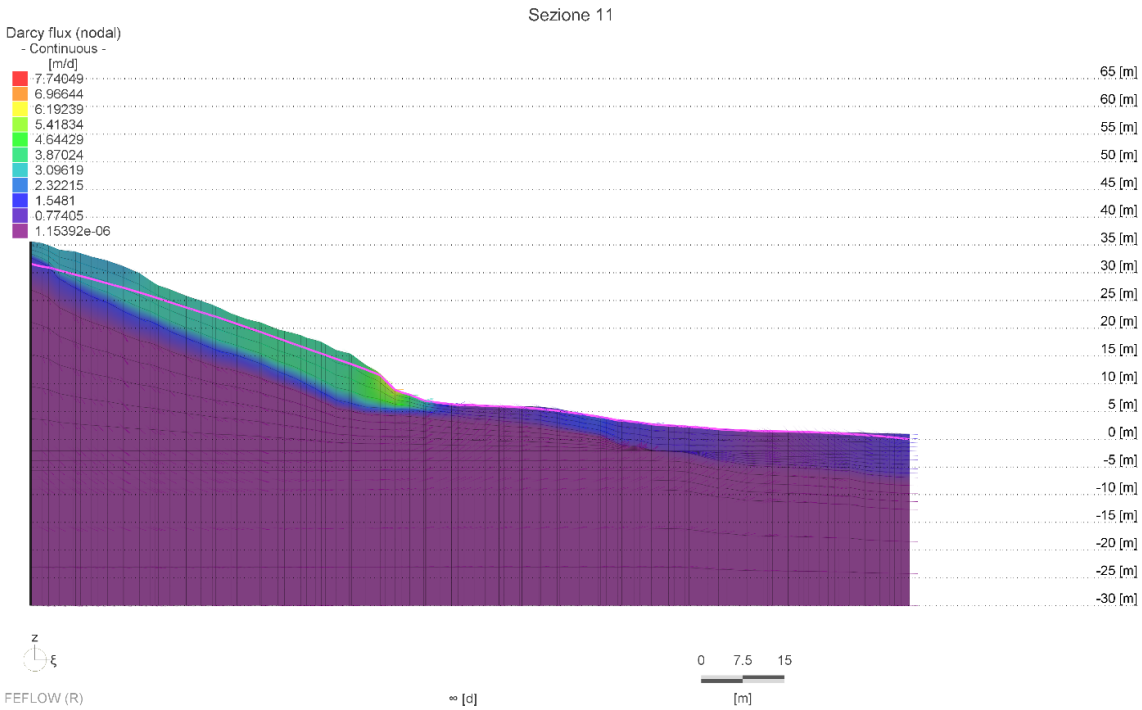

FIGURA 26 – SEZIONE 11: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI B2 (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

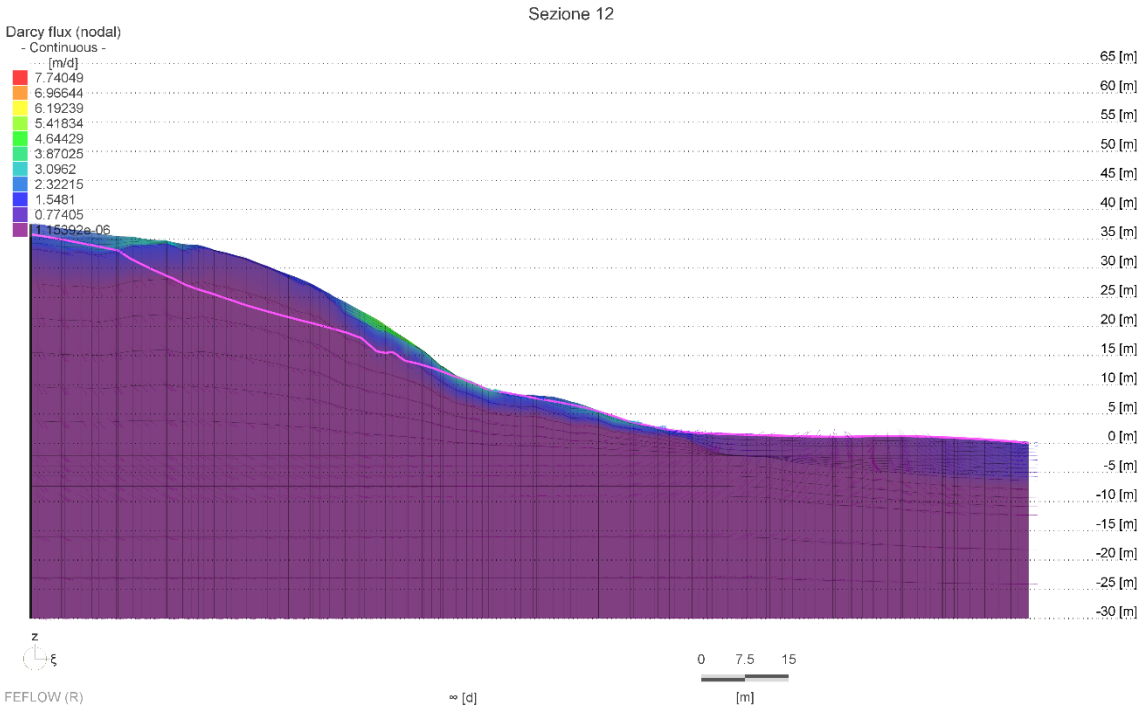

FIGURA 27 – SEZIONE 12: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI A2 (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

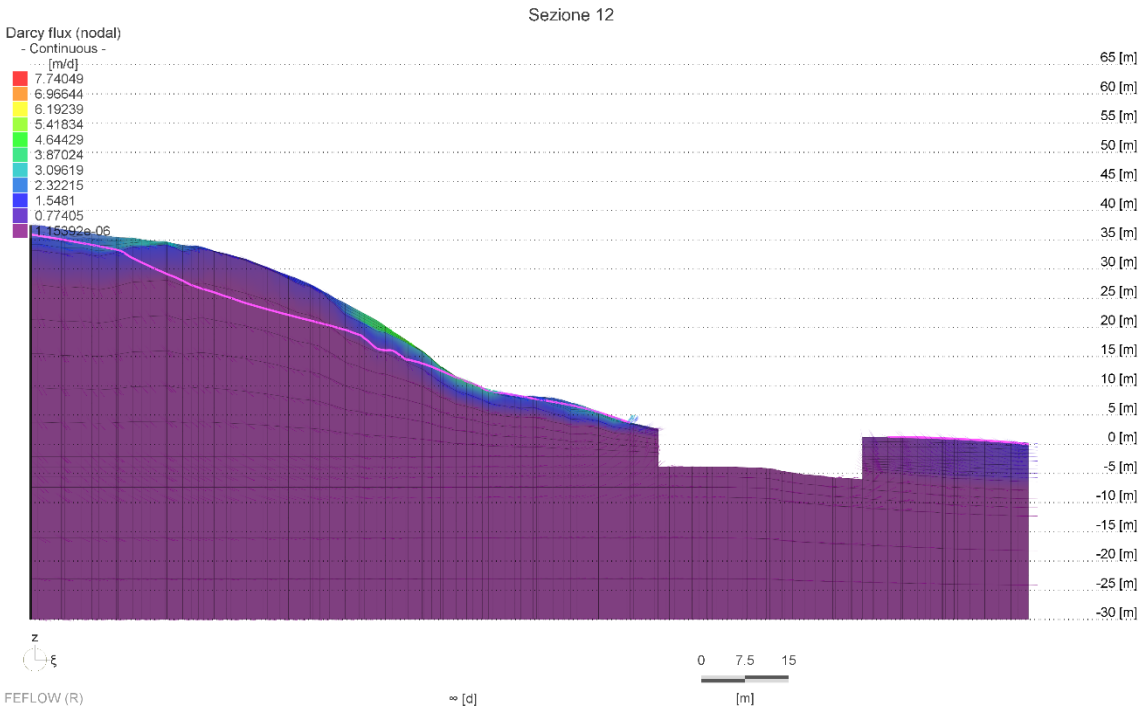

FIGURA 28 – SEZIONE 12: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI B2 (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

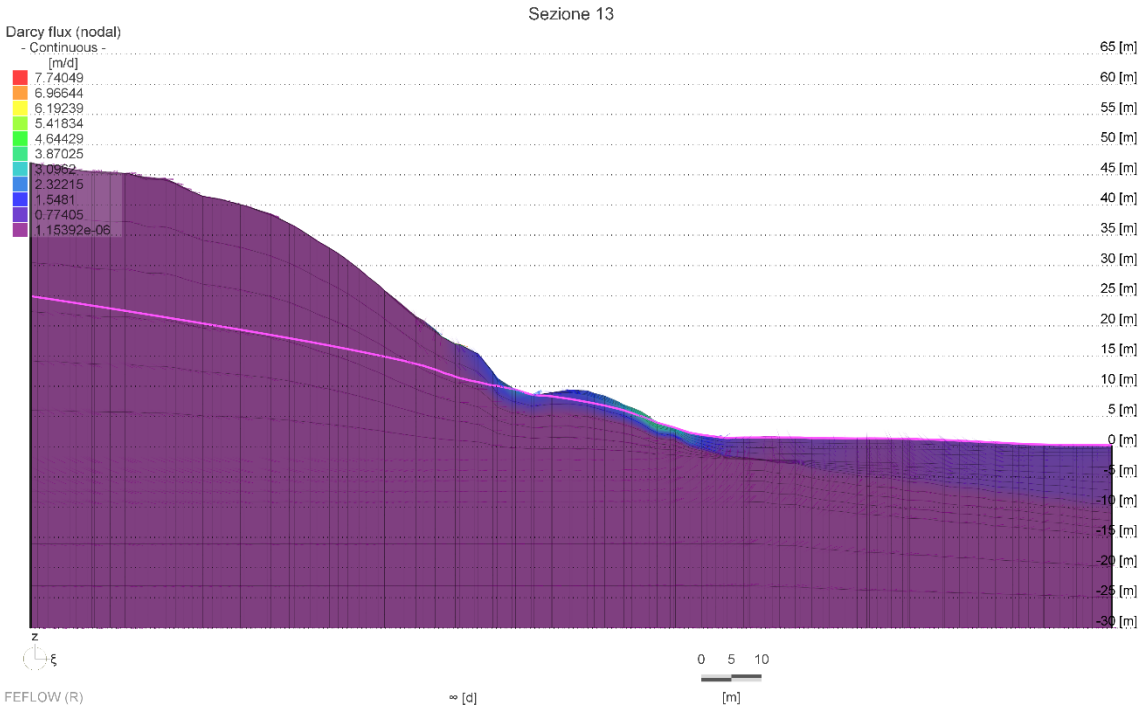

FIGURA 29 – SEZIONE 13: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI A2 (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

FIGURA 30 – SEZIONE 13: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI B2 (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

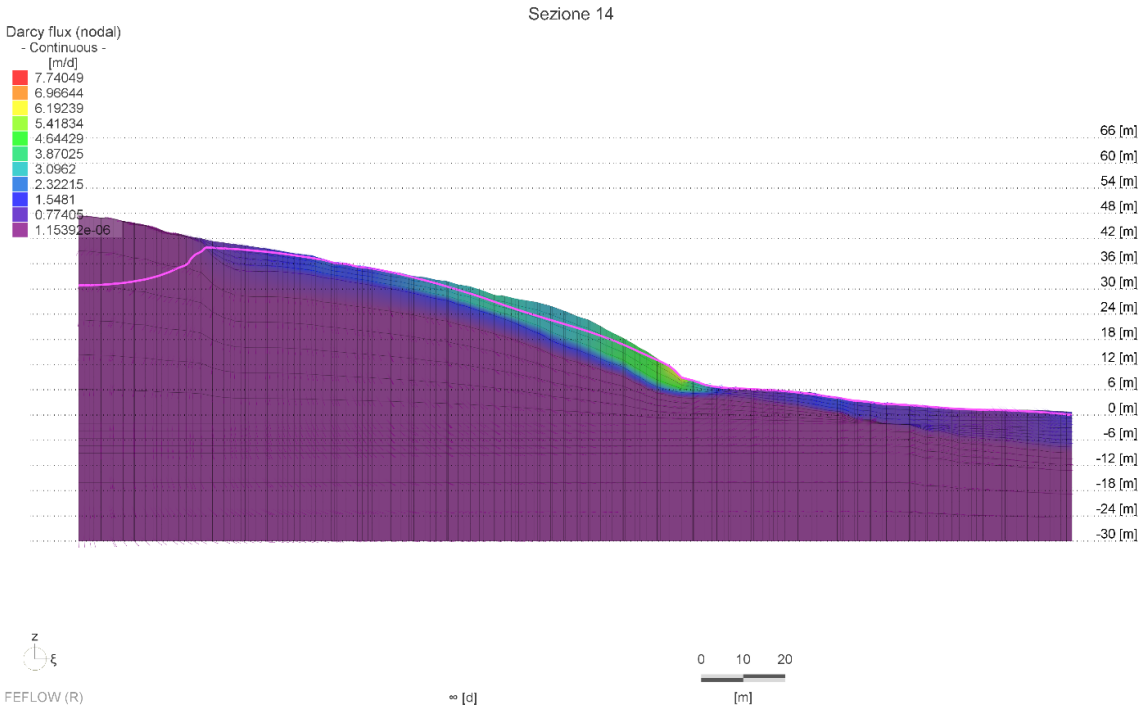

FIGURA 31 – SEZIONE 14: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI A2 (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

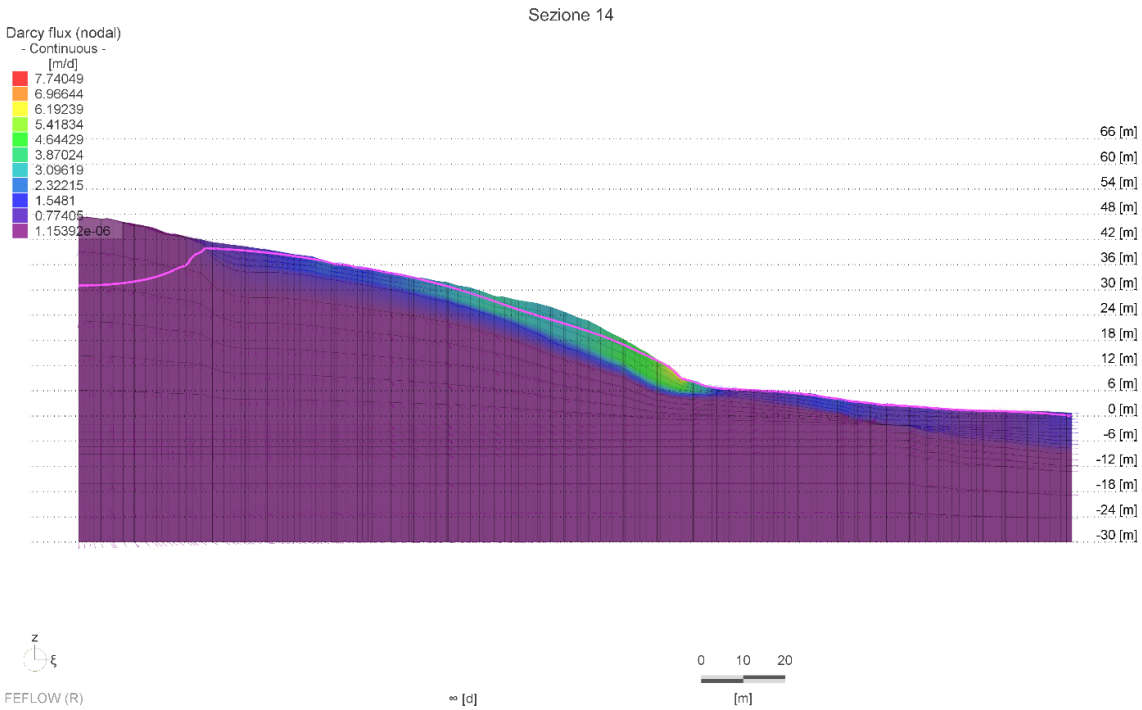

FIGURA 32 – SEZIONE 14: ALTEZZA DI FALDA FINALE OTTENUTA PER L'ANALISI B2 (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

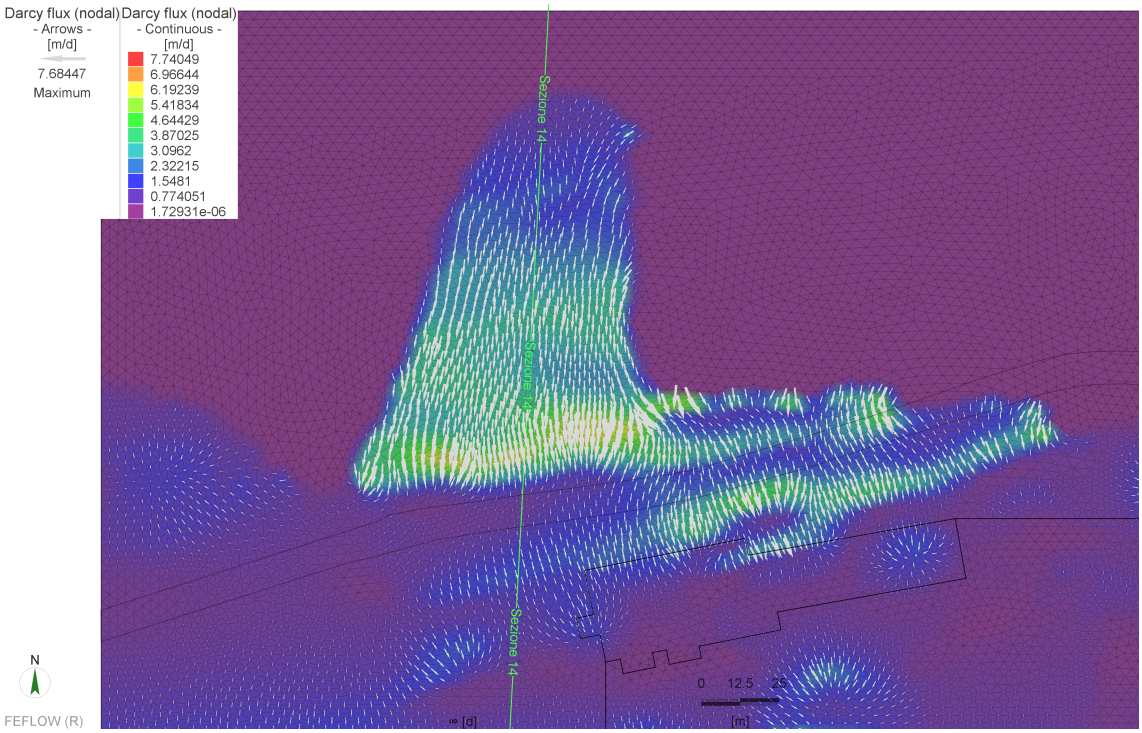

FIGURA 33 – ANALISI A2: VISTA IN PIANTA DEL MODELLO CON INDICAZIONE DEI VETTORI DI FLUSSO PER LA SLICE PROSSIMA ALLA SUPERFICIE (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

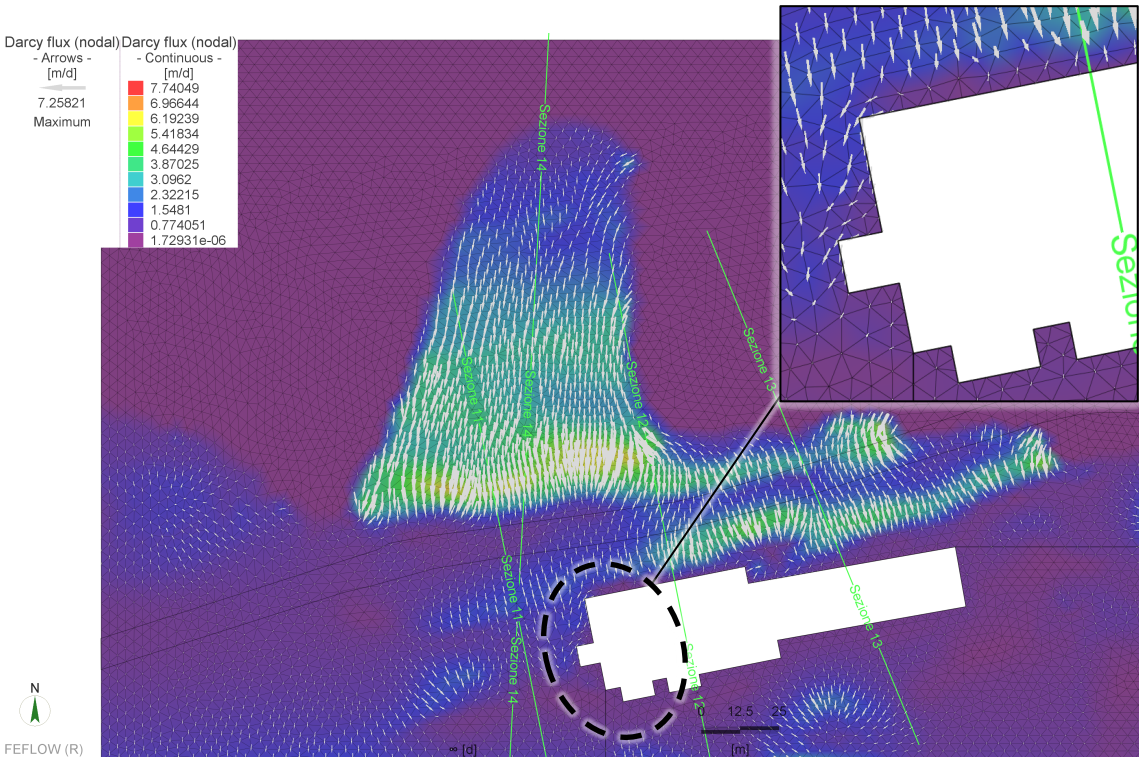

FIGURA 34 – ANALISI B2: VISTA IN PIANTA DEL MODELLO CON INDICAZIONE DEI VETTORI DI FLUSSO PER LA SLICE PROSSIMA ALLA SUPERFICIE (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

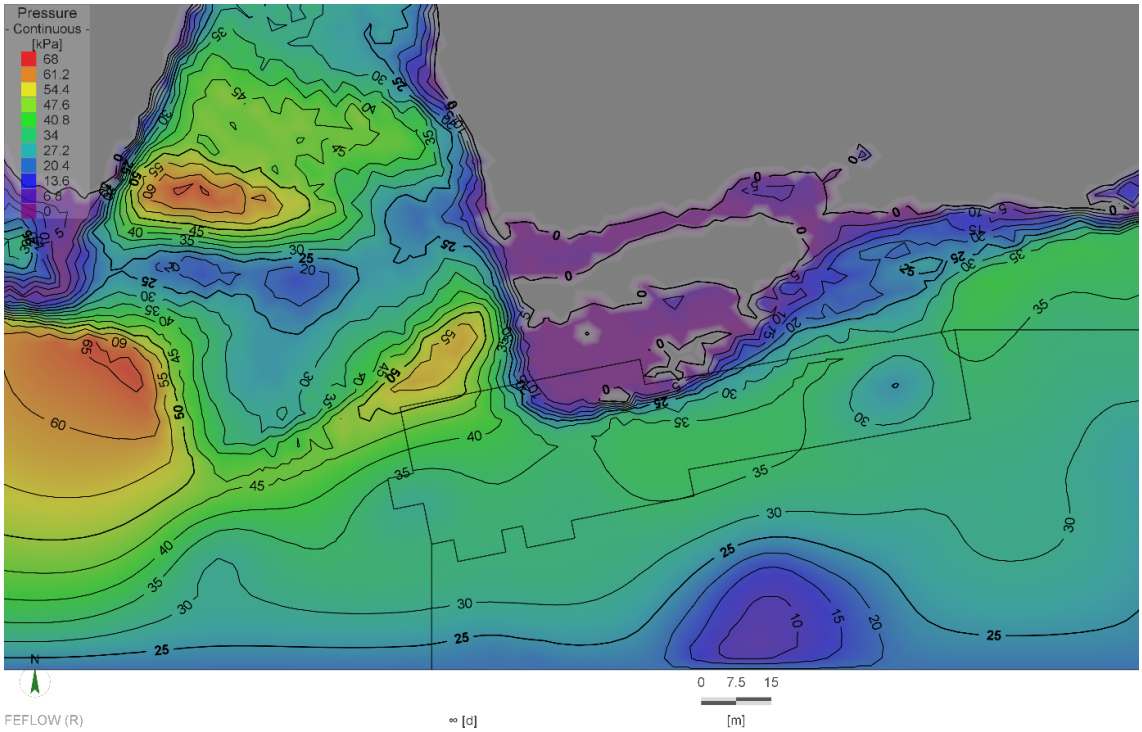

FIGURA 35 – ANALISI A2: CARICO IDRAULICO RISPETTO ALLA SOMMITÀ DEL SUBSTRATO ROCCIOSO (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

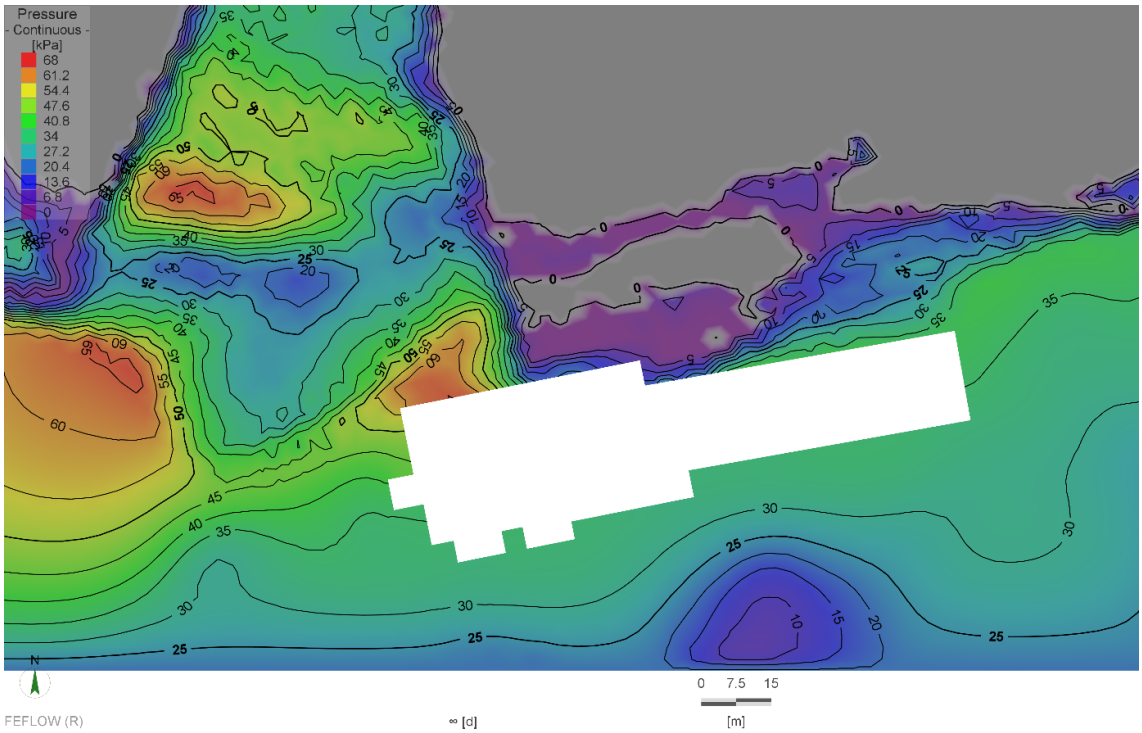

FIGURA 36 – ANALISI B2: CARICO IDRAULICO RISPETTO ALLA SOMMITÀ DEL SUBSTRATO ROCCIOSO (SITUAZIONE POST-INTERVENTO, LIVELLO PIEZOMETRICO 2).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE ANALISI NUMERICHE

Le analisi numeriche hanno chiaramente evidenziato la limitata interferenza del parcheggio sotterraneo in progetto nei riguardi del deflusso idrico sotterraneo anche durante eventi metereologici particolarmente intensi o prolungati.

Si è visto che la costruzione del parcheggio determina un innalzamento della piezometrica, in una zona limitata in estensione ed immediatamente a monte dello stesso, inferiore al metro. Questa situazione è stata ottenuta considerando, a favore di sicurezza, un substrato molto poco permeabile rispetto allo strato più superficiale (nella realtà le indagini hanno mostrato la presenza di alcuni metri di substrato roccioso alterato prima di incontrare quello massivo). In aggiunta va considerato che nella modellazione non è stata tenuto in conto, cautelativamente, la presenza della rete di drenaggio presente nella zona di interesse. A tale proposito, nella relazione geologica e geotecnica è indicato che la strada statale Aurelia intercetta la maggior parte delle acque provenienti da monte e che in aggiunta sarà sistemata la rete di scarico del parcheggio soprastante lato levante.

Sulla base dei risultati della modellazione numerica si ritiene non necessaria la progettazione interventi di mitigazione.

PIANO DI MONITORAGGIO DA ESEGUIRSI DURANTE I LAVORI E POST OPERA

Il monitoraggio delle eventuali variazioni del livello dell'acquifero a monte del costruendo parcheggio interrato verrà realizzato mediante l'installazione, all'interno di una serie di tubi piezometrici microfessurati, di sensori piezometrici di livello di tipo automatico collegati ad una centralina di acquisizione e trasmissione dati dedicata per la loro consultazione e archiviazione.

La rete di monitoraggio sfrutterà il tubo piezometrico esistente del sondaggio S2 ed una serie di nuovi 3 piezometri predisposti prima dell'inizio dei lavori del parcheggio.

Saranno all'uopo eseguite n° 3 perforazioni a distruzione della profondità di 8 metri con messa in opera di altrettanti tubi microfessurati.

I nuovi piezometri verranno realizzati subito a valle del piede del muro della SS1 Aurelia.

Lo schema dei piezometri è rappresentato nella planimetria (Figura 37).

Il monitoraggio verrà effettuato settando la centralina per lettura e archiviazione a cadenza di 1 ora.

Sul portale saranno consultabili i grafici delle letture che verranno archiviati per il periodo di esecuzione dei lavori e per i per tre anni successivi alla fine dei lavori di costruzione della struttura interrata.

Alla fine dei lavori strutturali verrà predisposto un primo rapporto sull'esito del monitoraggio, mentre dopo i successivi tre anni verrà steso un rapporto finale sul monitoraggio.

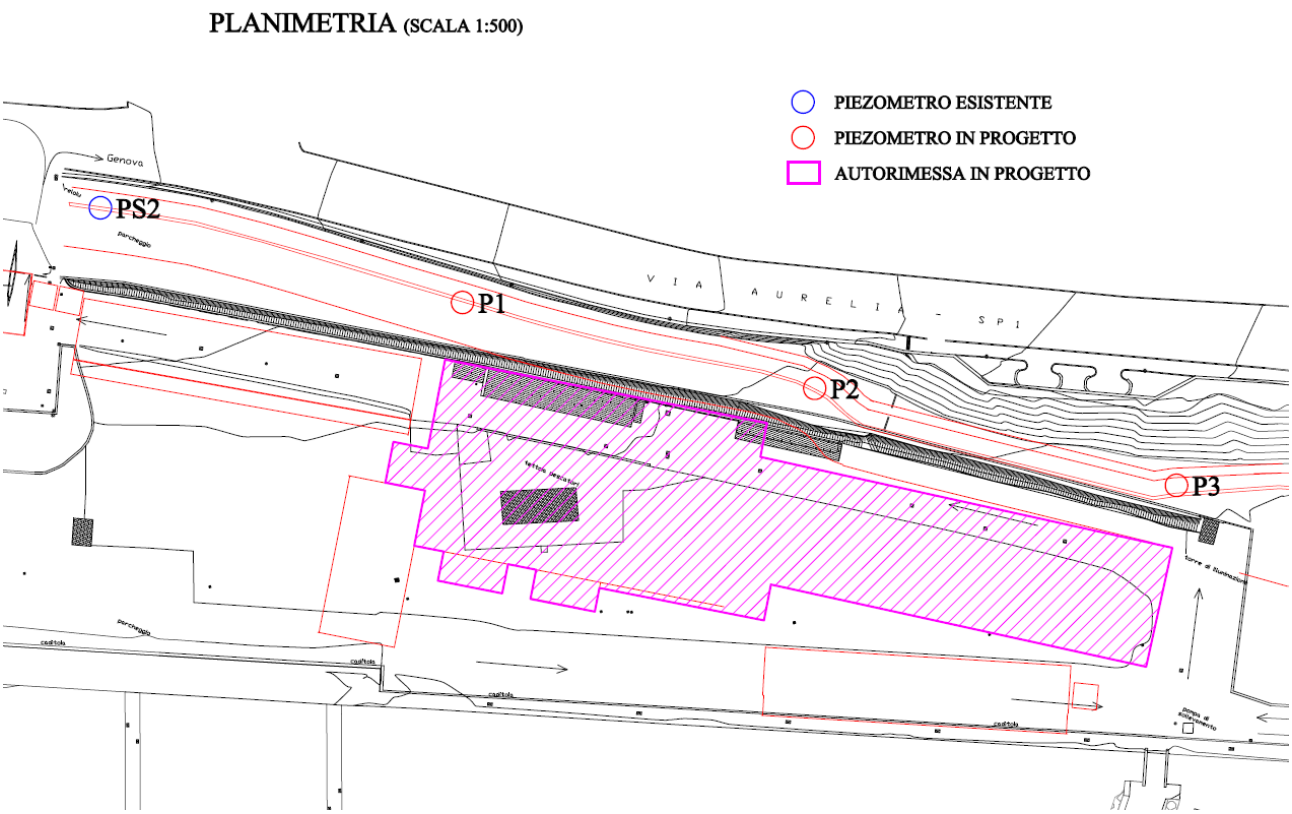

FIGURA 37 – SCHEMA POSIZIONE PIEZOMETRI PER MONITORAGGIO LIVELLO DI FALDA DURANTE L'ESECUZIONE DEI LAVORI DELLA AUTORIMESSA INTERRATA.